

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية و
الكهربائية و المعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 15

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. هائل الطالب

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - اذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث , وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
 3. أهداف البحث و أسئلته.
 4. فرضيات البحث و حدوده.
 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
 7. منهج البحث و إجراءاته.
 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
 9. نتائج البحث.
 10. مقترحات البحث إن وجدت.
 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
- ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
- ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
- ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر ، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة, اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابية مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
44-11	د. يسيم عمران د. جمانا دياب بشار موسى	تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لتحسين استجابة نظام رباعي المحرك
82-45	د. جمان أبو جيب د. عبد الكريم السالم حنان حسان	تحسين موثوقية شبكات ال <i>OCDDMA</i> اعتماداً على رموز الترابط المتبادل المعلوم <i>ZCCC</i> والبوابات المنطقية
98-83	د. عمار علي زقروق	الكشف عن عيوب القماش باستخدام معالجة الصورة
126-99	بشار شيخ عبد الله	الدراسة النظرية لنظام تحلية مياه البحر بطريقة التجفيف والترطيب باستعمال مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف
150-127	د. حسام الوفاني حسين المحمد	تحسين أداء جدولة مهام الحوسبة السحابية في الخوارزمية التنافسية <i>ICA</i> باستخدام خوارزمية الكائنات المتكافئة <i>SOS</i>

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لتحسين استجابة نظام رباعي المحرك

طالب دكتوراه في هندسة التحكم الآلي والحواسيب

الباحث: بشار انطونيوس موسى

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

الإشراف : المشرف الأساسي : د.بسيم عمران المشرف المشارك: د. جمانا دياب

ملخص البحث

رباعية المحرك Quadcopter هي طائرة ترتفع جواً نتيجة لقوة الرفع التي تقدمها أربعة محركات تتوضع عادة بشكل متصالب. وقد تم استخدامها في العديد من المجالات بما في ذلك المراقبة والبحث والإنقاذ، ورسم الخرائط، وآخرها تسليم الطرود. وتتطلب تحكماً لتحقيق الاستقرار والتغلب على تقلبات المعاملات الأيروديناميكية وتحقيق القيود الزمنية التي تفرضها هذه التقلبات.

تم تطبيق وحدة التحكم الذكية القائمة على التحفيز الدماغي (BELBIC) للتحكم في الطائرة رباعية المحرك Quadrotor. حيث تم تصميم وحدة تحكم BELBIC بناء على النموذج الحسابي لعملية التحفيز الدماغي في الجهاز الحوفي في دماغ الثدييات. تعمل خوارزمية التحكم المقترحة بسبب القدرة على التعلم والاستقلالية عن نموذج النظام والتعامل المرضي مع الاضطرابات والتغيير في معاملات النظام. تم عرض نتائج محاكاة التحكم في Quadrotor باستخدام BELBIC. تم تطبيق اضطراب على النظام المدروس بغرض فحص أدائه واستجابته واستقراره.

الكلمات المفتاحية: متحكم ذكي قائم على التحفيز الدماغي، المتحكم التناسبي والتكاملي والتفاضلي، الطائرة رباعية المحرك.

Design Of Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller To Enhance The Response Of Quadcopter System

Abstract

A quadcopter, is an aircraft that becomes airborne due to the lift force provided by four rotors usually mounted in cross configuration. The quadcopter has been used in numerous fields including surveillance, search & rescue, mapping, and most recently, package delivery. However, the quadcopter requires a stable control which must be robust against aerodynamic parametric variation and external wind gust.

In this paper, Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller (BELBIC) is applied to attitude control of a Quadrotor. BELBIC controller is designed based on the computational model of emotional learning process in mammalian brain limbic system. Proposed control algorithm is employed because of the learning ability and independency to system model and also satisfactory performances dealing with disturbances and changing in system parameters. Simulation results of controlling Quadrotor with BELBIC are addressed. Also pitch angle disturbance is applied due to examine system performances.

Keywords: BELBIC, Brain Emotional Learning Controller, PID controller, Intelligent Controller, quadcopter.

1- مقدمة

نتعامل في الصناعة دوماً مع أنظمة لا نملك معلومات عن نموذجها، وبالتالي تكون عملية تصميم وحدة التحكم المناسبة لهذا النظام أقل تبعية لنموذج النظام ولا يحتاج إلى معرفة معلومات دقيقة عن نموذج النظام. نعتمد في التحكم المعتمد على التحفيز الدماغي على مفهوم التعلم، حيث نفترض أن معادلات النظام غير معروفة والمعلومات الوحيدة المتاحة هي حالات النظام واستجابته لأداء وحدة التحكم. على الرغم من هذا النقص في المعرفة، يجب أن يملك نظام التحكم القدرة على نقل هذا النظام المجهول من الوضع الحالي إلى الوضع المطلوب بشكل أفضل [1]. المتحكم الذكي القائم على التحفيز الدماغي (BELBIC) هو نموذج تحكم غير خطي يستخدم للتحكم في عدة أنظمة. فمثلاً يستخدم BELBIC للتحكم في عملية عمود التقطير المزدوج [2]، وفي التحكم في الطيار الآلي بدرجتي حرية لنموذج طائرة هليكوبتر [3]، واستخدم في التحكم في حركة روبوتات ثلاثي العجلات وتتبع الهدف [4] و [5].

في السنوات الأخيرة، تم التركيز في مجال واسع من الأبحاث على المركبات الجوية بدون طيار. ومثال على ذلك، المركبات التي لديها القدرة على الإقلاع والهبوط العمودي (VTOL)، لتحقيق الاستقرار والسيطرة على Quadrotors. تحتاج معظم هذه الطرق إلى معلومات مفصلة عن ديناميكيات النظام ومعاملات النظام. حيث صمم Benallegue وآخرون متحكم الوضع المنزلق لطائرة Quadrotors [6]، بينما تم استخدام الشبكات العصبونية المعتمدة على التحكم المراقب التكييفي من قبل Boudjedir للتحكم بطائرة Quadrotor [7]، واستخدم Bou-Ammar التعلم المعزز لتصميم وحدة تحكم للطائرات بدون طيار Quadrotor [8]، واستخدم Nicoll التحكم الضبابي التكييفي لطائرة Quadrotor. ولكن رغم تنوع هذه الدراسات المرجعية، إلا أنها لم تدرس أداء المتحكم عند تعرض الطائرة إلى مجموعة من الاضطرابات الخارجية.

تم في هذا البحث تطبيق وحدة تحكم BELBIC للتحكم في الطائرة رباعية الدوار Quadrotor، ودراسة أداء المتحكم عند تعرض الطائرة إلى مجموعة من الاضطرابات

الخارجية على عدة محاور. كما تم مقارنة النتائج مع أداء وحدة تحكم PID تقليدية مضبوطة جيداً.

2- مشكلة البحث:

بسبب أن هذه الأنظمة الحالية أصبحت أنظمة معقدة وهجينة وغير خطية، تم اللجوء إلى طرق آخر غير المتحكم PID للتغلب على مشاكل التجاوز overshoot وزمن الاستقرار settling time المرتفع وخطأ الحالة الساكنة steady state error وخاصة في الأنظمة المعقدة وغير الخطية، ومن هذه الطرق المتحكم BELBIC .

3- أهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث في الحصول على منظومة تحكم قادرة على التغلب على جميع الاضطرابات الخارجية والظروف الاستثنائية التي يمكن أن يتعرض لها النظام المعقد اللاخطي المتحكم به، ويتم ذلك في الزمن الحقيقي نتخلص فيها من مشاكل overshoot وزمن الاستجابة المرتفع وخطأ الحالة الساكنة.

4- الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحسين استجابة نظام تحكم معقد لا خطي في الزمن الحقيقي عند تعرض النظام المتحكم به إلى اضطرابات خارجية تقوم بتغيير معاملات هذا النظام، أو عند عمل هذا النظام في ظروف استثنائية. عن طريق استخدام المتحكمات الذكية المعتمدة على التحفيز الدماغي BELBIC .

5- منهج البحث:

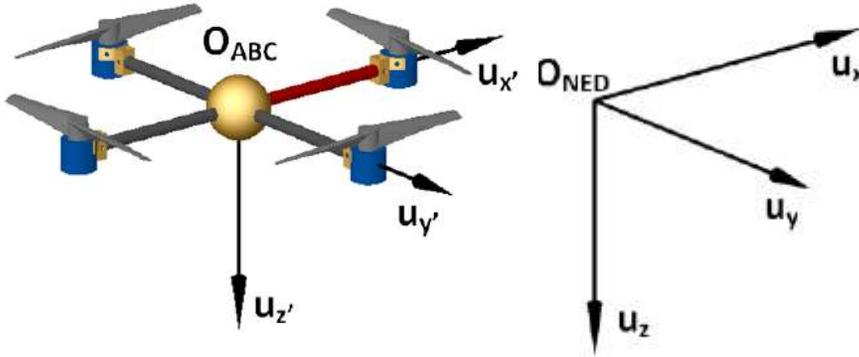
يعتمد البحث على المنهج التجريبي بسبب عدم معرفة معاملات النظام المدروس من خلال محاكاة هذا النظام المتحكم به الخاضع للاضطرابات الخارجية التي يمكن أن يتعرض لها، ومناقشة النتائج بعد تطبيق المتحكم BELBIC على هذا النظام.

6- الدراسة:

6-1- نمذجة رباعية المحرك

الخطوة الأولى هي النمذجة لديناميكيات النظام وذلك لتسهيل التحكم بالطائرة رباعية المحرك وتوفير فهماً أفضل لقدرات النظام ومحددياته.

إن ديناميكيات رباعية المحرك معقدة، لذلك حتى نستطيع كتابة معادلات رباعية المحرك الديناميكية وفهم النظام بشكل واضح، قمنا بتعريف اثنين من الأطر المرجعية، إطار ثابت وإطار محمول [9]. يتم تعيين الإطار الثابت أو إطار الأرض من خلال ONED (شمال شرق أسفل North-East-Down) حيث يكون المحورين (UX وUY) موجّهين مع الاتجاهات الشمالية والشرقية على التوالي، والمحور الثالث (UZ) موجه إلى الأسفل نحو مركز الأرض الشكل (1). يتم تعيين الإطار المحمول من خلال OABC، أو مركز جسم رباعية المحرك، ومبدأه منطبق على مركز ثقل رباعية المحرك كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (1): الإطار الثابت

الشكل (2): الإطار المحمول

يحدد موقع رباعية المحرك، حول كل محور من محاور الدوران الثلاث بست توابع: زوايا أولر Euler $[\psi \theta \phi]$ (الانعراج yaw، الانحراف pitch والالتفاف roll) والسرعات الزاوية حول كل محور من الإطار OABC والمرمزة [P Q R].

هناك 6 دوال أخرى ضرورية: موقع مركز الثقل [XYZ] ومكونات السرعة الخطية [U V W] بالنسبة إلى الإطار الثابت. وخالصة القول إن quadcopter لها 12 دالة تصف 6 درجات الحرية.

يجب أن نستنتج المعادلات التي تصف التوجه من الإطار المحمول بالنسبة إلى الثابت، وهو ما يمكن تحقيقه باستخدام مصفوفة الدوران. تنتج هذه المصفوفة عن ضرب ثلاثة مصفوفات الأخرى $(R'(\phi), R'(\theta), R'(\psi))$ ، كل منها يمثل دوران إطار OABC حول كل واحد من محاور ONED.

$$R'(\phi, x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad R'(\theta, y) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R'(\psi, z) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S = R'(\phi, x) R'(\theta, y) R'(\psi, z) \quad (2)$$

$$S = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \\ \sin \psi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \cos \phi \cos \psi + \sin \phi \sin \theta \sin \psi & \sin \phi \cos \theta \\ \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi & \sin \theta \cos \phi \sin \psi - \sin \phi \cos \psi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

حيث S هي مصفوفة الدوران التي تعبر عن توجه تنسيق الإطار O_{ABC} بالنسبة للإطار المرجعي ONED.

باستخدام مصفوفة الدوران لربط القوى وعزوم الدوران من إطار الجسم مع إطار الأرض تكون معادلات الحركة كما يلي [9]:

$$= \begin{bmatrix} -g \\ \frac{(Iy-Iz)}{Ix} \dot{\theta} \dot{\psi} \\ \frac{(Iz-Ix)}{Iy} \dot{\phi} \dot{\psi} \\ \frac{(Ix-Iy)}{Iz} \dot{\phi} \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{k}{m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{k}{Ix} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{k}{Iy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{k}{Iz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_z \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} \quad (4) \quad \begin{bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix}$$

حيث يبين الجدول(1) قيم ثوابت رباعية الدوار المدروسة

الجدول(1): قيم ثوابت رباعية الدوار المدروسة.		
1.4865e-7	معامل الدفع	k
1.023[kg]	كتلة رباعية المحرك	m
9.81[m/s ²]	تسارع الجاذبية الأرضية	g
0.0094999[kg.m ²]	عزم العطالة حول x	I _x
0.0094999[kg.m ²]	عزم العطالة حول y	I _y
0.0094999[kg.m ²]	عزم العطالة حول z	I _z
1.4865e-7	معامل الجر	d

6-2- التحكم الذكي المعتمد على التعلم العاطفي للدماغ:

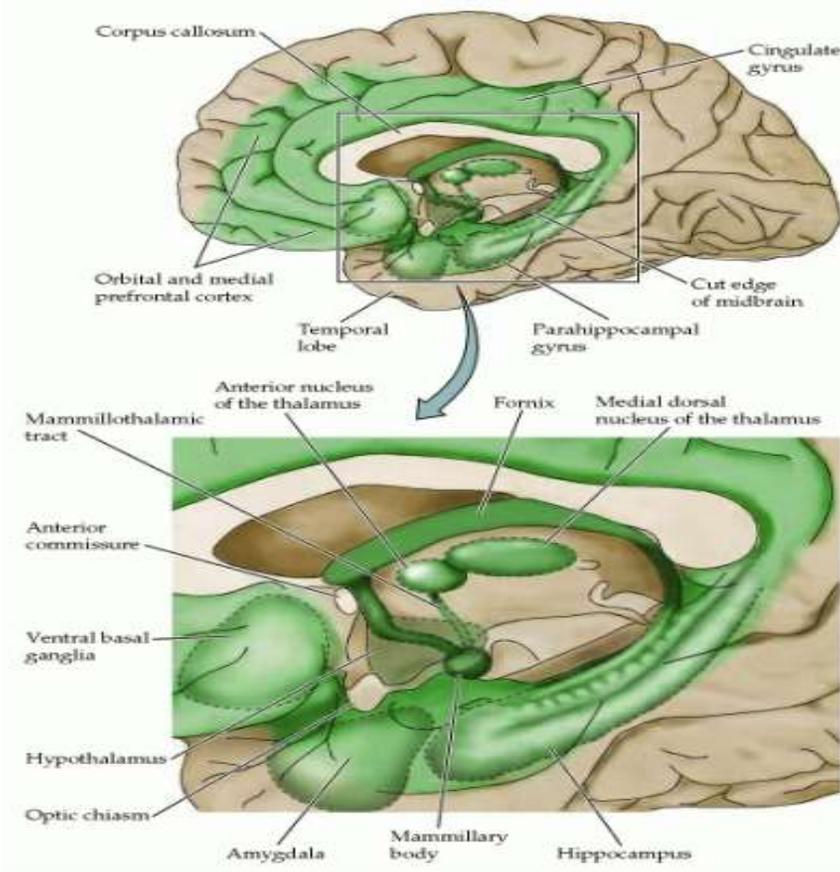
قام Moren و Balkenius في العام 2000 [10] باقتراح نموذج حسابي للوزة الدماغية (Amygdala) والقشرة الجبهية الحجاجية (Orbitofrontal Cortex) في الجهاز الحوفي (Limbic System) مستوحى من الجهاز العصبي. تم اقتراح خوارزمية التحكم المستخدمة في BELBIC بناء على ذلك النموذج.

يوجد أسلوبان لتطبيق نموذج التعلم العاطفي للدماغ (BEL) على نظم التحكم وهما الأسلوب المباشر (direct approach) والأسلوب غير المباشر (indirect approach). يستخدم الأسلوب الأول نموذج BEL على أنه جزء المتحكم، بينما يستخدم الأسلوب الثاني نموذج BEL لتوليف بارامترات المتحكم.

يعتبر التعلم العاطفي طريقة فعالة في نظم التحكم المعقدة اللاخطية في الزمن الحقيقي بسبب بساطتها، درجة تعقيدها الحسابي المنخفضة، وتدريبها السريع بالمقارنة مع طرق أخرى تعتبر صعبة التطبيق بسبب درجة تعقيدها الحسابي المرتفعة. تم تصميم BELBIC للعمل في تطبيقات نظم SISO و MIMO. تشير الأبحاث ذات الصلة على أن للنظم التي تستخدم BELBIC أداء ومثانة جيدين وخصوصاً قدرته في التعامل مع التشويش ومثانته في حالات تغير البارامترات نظراً لقابليته للتعلم.

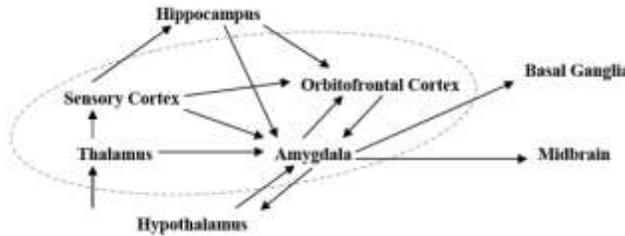
6-2-1 بنية الجهاز الحوفي

إن الجهاز الحوفي هو الجزء من الدماغ المسئول على العمليات العاطفية. يقع الجهاز الحوفي في القشرة الدماغية ويتكون بشكل أساسي من الأجزاء التالية: اللوزة الدماغية (Amygdala)، القشرة الجبهية الحجاجية (Orbitofrontal Cortex)، المهاد (Thalamus)، القشرة الحسية (Sensory Cortex)، الوطاء (Hypothalamus)، الحصين (Hippocampus) بالإضافة إلى أجزاء أخرى تعتبر أقل أهمية. تعتبر اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية الأكثر أهمية في نموذج BEL. يبين الشكل (1) الأجزاء الأساسية للجهاز الحوفي. سنشرح فيما يلي الوظائف الأساسية للأجزاء الرئيسية للجهاز الحوفي.



الشكل(3): الأجزاء الرئيسية في الجهاز الحوفي.

تقع اللوزة الدماغية (Amygdala) في المنطقة تحت القشرية (sub-cortical area). إن اللوزة الدماغية موضوعة بحيث يمكنها التواصل مع القشرة الحسية وبقية الأجزاء ضمن الجهاز الحوفي. يبين الشكل (4) الوصلات بين اللوزة الدماغية وبقية الأجزاء في الدماغ. بينت الدراسات أن المحفزات ترتبط مع نتائجها العاطفية في اللوزة الدماغية. يتم في هذه المنطقة ربط المحفزات عالية التحليل (highly analyzed stimuli) في القشرة الحسية بالإضافة إلى المحفزات ذات التصنيف الخشن (coarsely categorized stimuli) في المهاد، يتم ربطها بقيمة عاطفية (emotional value).



الشكل (4): التوصلات بين اللوزة الدماغية وبقية الأجزاء في الجهاز الحوفي.

تتفاعل القشرة الجبهية الحجاجية (Orbitofrontal Cortex) مع اللوزة الدماغية بشكل متبادل. تتمثل الوظيفة الترابطية الأساسية لهذا العنصر في: الذاكرة العاملة (Working Memory)، المجموعة التحضيرية (Preparatory Set) والتحكم المثبط (Inhibitory Control). إن الأحداث الحالية وأحداث الماضي القريب تمثل في الذاكرة العاملة. إن المجموعة التحضيرية هي المرحلة الأولى في التنبؤ بالأفعال على وشك الحدوث. إن التحكم المثبط هو تثبيط انتقائي للمناطق التي قد تكون غير مناسبة في بعض الحالات. أي بكلام آخر، تتمثل وظيفة القشرة الجبهية الحجاجية في تجاهل النتائج المتوقعة والتحكم بإيقاف عملية التعلم للوزة الدماغية.

يقع المهاد (Thalamus) جانب العقد القاعدية (basal ganglia)، وهي عبارة عن محطة متوسطة بين المناطق القشرية وتحت القشرية. تقوم عدة أجزاء من المهاد بترحيل معظم المعلومات الحسية من النظم الحسية المحيطة إلى القشرة الحسية. إن إشارات المهاد المتجهة نحو اللوزة الدماغية تتجاوز العمليات المتضمنة في القشرة الحسية

والأجزاء الأخرى للنظام، لذلك تستقبل اللوزة الدماغية محفزات سريعة من المهاد والتي تميز عن غيرها من المحفزات باسم الإشارة المميزة (characteristic signal). تقع القشرة الحسية (Sensory Cortex) قرب المهاد وتستقبل إشارات الدخل منه. تقوم القشرة الحية بمعالجة المعلومات من المناطق الحسية. ترسل القشرة الحسية إشارات عالية التحليل إلى اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية. تستخدم الثدييات هذه المناطق من الجهاز الحوفي من أجل معالجة الإدراك الحسي (perceptual processing).

يقع الوطاء (Hypothalamus) تحت المهاد وهو المسئول عن تنظيم نظام الغدد الصماء (endocrine system) والجهاز العصبي الذاتي (autonomous nervous system). تتصل الأجزاء الجانبية من الوطاء مع عدة مناطق ضمن اللوزة الدماغية. يعتقد بأن هذه الوصلات لها أثر كبير في التحكم التحفيزي للأجزاء ضمن الوطاء. يقع الحصين (Hippocampus) في نفس منطقة اللوزة الدماغية، ويعتبر من أكثر أجزاء الجهاز الحوفي تعقيداً. إن وظيفته الأساسية هي ربط البيئة مع مثال بيئي (environmental cue). من الوظائف الأخرى للحصين، ترتيب الذاكرة طويلة الأمد، وتكوين البيانات القرينية (contextual representations).

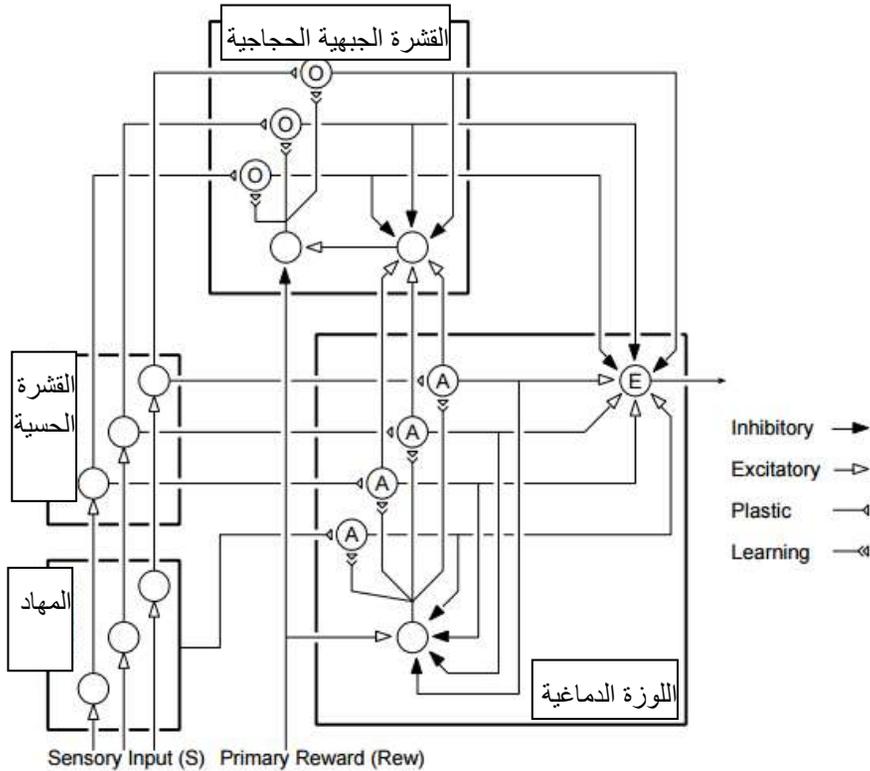
بالإضافة إلى الأجزاء المذكورة سابقاً، توجد عدة أجزاء لها دور في الجهاز الحوفي، نذكر منها العقد القاعدية (Basal Ganglia)، الكرة الشاحبة (Globus Pallidus)، المادة السوداء (Substantia Nigra)، النواة تحت المهاد (Subthalamic Nucleus) والقشرة حول اللوزة (Periamygdaloid Cortex).

6-2-2 النموذج الحسابي لـ BEL

قام كل من Moren و Balkenius [10] بتطوير نموذج حسابي لمحاكاة اللوزة الدماغية، القشرة الجبهية الحجاجية، المهاد، القشرة الحسية، وأجزاء الدماغ المسؤولة عن التعامل مع العواطف. يبين الشكل (5) النموذج الحسابي للتعلم العاطفي. يقسم هذا النموذج إلى أربعة أجزاء: المهاد، القشرة الحسية، اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية

الحجاجية. سنغطي في هذا الجزء المهاد والقشرة الحسية بشكل سطحي، بينما سنغطي اللوزة الدماغية والقشرة الحسية بشكل مفصل.

إن وظيفة المهاد في هذا النموذج هي تمرير الإشارات إلى القشرة الحسية. يرسل المهاد أيضاً إشارة إلى اللوزة الدماغية مبيّنة على الشكل بتوصيل مفرد. إن هذه الوصلة لا تعطي معلومات عن المحفزات وإنما تقوم فقط بتمثيل وجود بعض المحفزات.



الشكل (5): رسم تخطيطي لعملية التعلم العاطفي للدماغ (BEK) [10].

إن وظيفة القشرة الحسية هي إرسال إشارات تمثل المحفزات بشكل أكثر تفصيلاً إلى كل من اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية. إن هذه الإشارات تقود بدء عملية التعليم في اللوزة الدماغية والمثبطات التي تتحكم بها القشرة الجبهية الحجاجية.

يقسم الجزء الأساسي للنموذج إلى قسمين أساسيين، وبحيث يقابلان اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية. إن هذين القسمين على درجة عالية من التعقيد وسنذكر فيما يلي بعضاً من وظائفهما. تستقبل اللوزة الدماغية المداخل من المهاد ومناطق القشرة،

بينما تستقبل القشرة الجبهية الحجاجية المداخل من مناطق القشرة ومن اللوزة الدماغية. يستقبل النظام أيضاً إشارة داعمة (reinforcing signal) تسمى Primary Reward (Rew).

يلاحظ من الشكل أن اللوزة الدماغية تستقبل ثلاثة أنواع من المداخل الحسية. يأتي الدخل الأول من المهاد ومن القشرة الحسية. يكون الدخل الثاني عبارة عن إشارة تستخدم لترميز الأهمية العاطفية. يسمى هذا الدخل بإشارة التدعيم (reinforcement) وتكافئ على سبيل المثال شعور التذوق أو الألم. تستقبل اللوزة الدماغية دخلاً مثبطاً من نظام القشرة الجبهية الحجاجية والذي يمكن أن تثبط الاستجابات العاطفية غير المناسبة.

يوجد ضمن اللوزة الدماغية نظامان اثنان. يكون النظام الأول مسئولاً عن التعلم المثار ويتكون من عدد من العقد الحسية ومن مدخل للتعلم. يكون مدخل التحكم جزءاً من حلقة تغذية عكسية سالبة توقف إشارة التعلم حالما يصل الخرج إلى مرحلة مساوية لإشارة التعليم. إن وظيفة حلقة التغذية العكسية هي ضمان أن يكون رد الفعل العاطفي بنفس المطال لإشارة التدعيم. إن القسم الثاني للوزة الدماغية هو حيث تقوم عملية التنشيط من نظام القشرة الجبهية الحجاجية بالتحكم بالخرج.

يستقبل نظام القشرة الجبهية الحجاجية المداخل من القشرة الحسية بالإضافة إلى معلومات عن إشارة التدعيم الحالية والمتوقعة من اللوزة الدماغية. يتم مقارنة هاتين الإشارتين، وإذا لم نحصل على التدعيم المتوقع يتم تفعيل التعلم في نظام القشرة الجبهية الحجاجية. إن هذه المرحلة من التعلم تجعل من المحفز الحالي قادراً على التحكم بإشارة التنشيط المرسل إلى اللوزة الدماغية بطريقة تجعل بالإمكان تخميد الاستجابة.

يمثل الشعاع S المداخل المحفزة للنظام. توجد عقدة A لكل محفز S . يوجد وزن توصيل مرن V (plastic connection weight) لكل عقدة A . يتم حساب جداء الدخل بهذا الوزن ويكون الناتج هو خرج العقدة A كما هو موضح في الشكل (5). يمكن حساب التفعيل لكل عقدة من A بالعلاقة:

$$A_i = S_i V_i \quad (5)$$

يوجد دخل آخر A_{th} إلى اللوزة الدماغية يمثل القيمة العظمى للمداخل المحفزة S :

$$A_{th} = \max(S_i) \quad (6)$$

تستخدم هذه الإشارة عند ترميز المداخل الحسية. يتم تعديل أوزان التوصيل V_i لكل عقدة A بما يتناسب مع الفرق بين الإشارة الداعمة Rew ومجموع الخرج الحالي لكل العقد A . بفرض أن α هو ثابت يستخدم لتعديل سرعة التعلم:

$$\Delta V_i = \alpha \left[S_i \max \left(0, Rew - \sum_j A_j \right) \right] \quad (7)$$

نلاحظ خرج النموذج سيقترب من مطال الإشارة الداعمة. لا يمكن للوزن V أن يتناقص وهذا الأمر له سبب منطقي إذ أنه بمجرد أن تم تعلم رد الفعل العاطفي، يجب أن يكون دائماً وألا ينسى. إن مهمة تثبيط ردة الفعل هذه في الحالات غير المناسبة هي وظيفة القشرة الجبهية الحجاجية. إن قاعدة التعلم للقشرة الجبهية الحجاجية مشابهة لقاعدة تعلم اللوزة الدماغية إلا أن أوزان الوصلات للقشرة الجبهية الحجاجية يمكن أن تزداد أو أن تتناقص. توجد عقدة O لكل محفز. تسلك العقد O سلوكاً مماثلاً للعقد A حيث تستخدم أوزان الوصلات لإشارات الدخل لتوليد الخرج.

$$O_i = S_i W_i \quad (8)$$

يتم حساب إشارة التدعيم للعقد O من الفرق بين الخرج السابق E والإشارة الداعمة. بفرض β ثابت يدل على معدل التعلم، يمكن حساب ΔW_i وفق العلاقة (9):

$$\Delta W_i = \beta \left(S_i \sum_j (O_j - Rew) \right) \quad (9)$$

أي أن العقد O تقوم بمقارنة إشارة التدعيم المتوقعة والمستلمة وتنبط خرج النموذج بما يتناسب مع مطال الفرق.

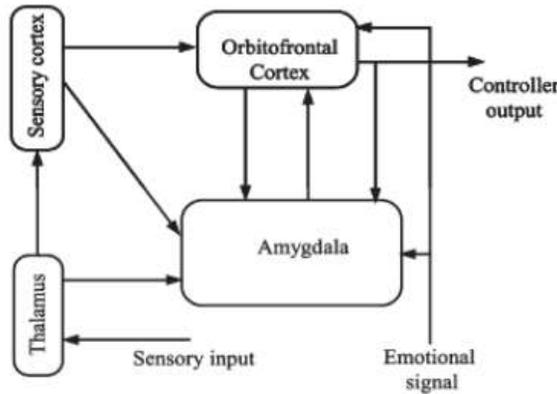
تقوم العقدة E بجمع مخارج العقد A ومن ثم تطرح المخارج المثبطة من العقد O. إن هذا الخرج هو خرج النموذج.

$$E = \sum_i A_i - \sum_i O_i \quad (10)$$

إن هذا النظام يعمل إذاً على مرحلتين: في المرحلة الأولى يتعلم النظام الأساسي أن يتوقع ويتعامل مع إشارة تدعيم معطاة. ولا ينسى النظام الفرعي ما تعلمه، بحيث يعطي إمكانية الاحتفاظ بقيمة الوصلات العاطفية حسب الحاجة. أما في المرحلة الثانية يقوم النظام الثاني المساعد بتتبع عدم التطابق بين توقعات النظام الأساسي والإشارة الداعمة المستلمة كما أنه يتعلم كيف يثبط خرج النظام بما يتناسب مع عدم التطابق [11].

3-2-6 المتحكم الذكي المعتمد على التعلم العاطفي للدماغ

تم تصميم نموذج BELBIC بناء على المعادلات السابقة كنموذج إدراكي ذي حلقة مفتوحة من قبل C. Lucas وزملاؤه في العام 2004 [12]. تم استخدام هذا المتحكم في العديد من التطبيقات الصناعية وفي أغراض التحكم. يبين الشكل (6) طريقة تطبيق هذا النموذج. إن BELBIC ببساطة هو آلية لتوليد الأفعال بناءً على مداخل حسية ومنبهات عاطفية (Reward signals). تبين المعادلات (5) ← (10) معادلات BELBIC [13].



الشكل (6): مخطط صندوقي مبسط للتحكم المعتمد على العواطف.

6-3. تصميم المتحكم

6-3-1. المتحكم PID

قمنا بتصميم متحكم PID لكل زاوية من زوايا أولر الثلاثة roll, pitch, yaw وللارتفاع z، ومن أجل سهولة المناقشة سوف نقوم بعرض آلية تصميم المتحكم PID من أجل الزاوية roll.

يتم تصميم المتحكم PID من خلال توليف معاملاته التناسبي والتكاملي والتفاضلي P,I,D، إن الجزء التناسبي من وحدة التحكم يعطي إشارة تحكم مكونة من جداء الثابت التناسبي Proll مع إشارة الخطأ $e(t)$ التي هي الفرق بين القيمة المرجعية ϕ_r للزاوية roll والقيمة الفعلية ϕ كما يلي

$$P_{out} = P_{roll} * e(t) = P_{roll} * (\phi_r - \phi) \quad (11)$$

أما الجزء التكاملي من المتحكم فيعطي إشارة عبارة عن جداء الثابت التكاملي I_{roll} في تكامل إشارة الخطأ، ويكون هذا الجزء مسئول عن القضاء على أخطاء الحالة المستقرة ودفع إشارة الخرج نحو الإشارة المرجعية المطلوبة، كما أنه يقلل زمن الارتفاع لإشارة الخرج ولكن يزيد زمن الاستقرار. تعطى معادلة الجزء التكاملي من المتحكم وفق المعادلة

$$I_{out} = I_{roll} * \int_0^t e(t) dt \quad (12)$$

بالنسبة للجزء التفاضلي من المتحكم، فيعطي إشارة خرج هي عبارة عن جداء الثابت التفاضلي D_{roll} في تفاضل إشارة الخطأ بالنسبة للزمن، ويكون هذا الجزء مسئول عن الحد من تجاوز الإشارة المرجعية overshoot. تعطى معادلة الجزء التفاضلي من المتحكم وفق المعادلة

$$D_{out} = D_{roll} * d/dt e(t) \quad (13)$$

يكون خرج المتحكم النهائي هو مجموع مخارج الأجزاء الثلاثة حيث يتم تجميعها وجمعها لتشكل مدخل إلى كتلة ديناميكيات النظام.

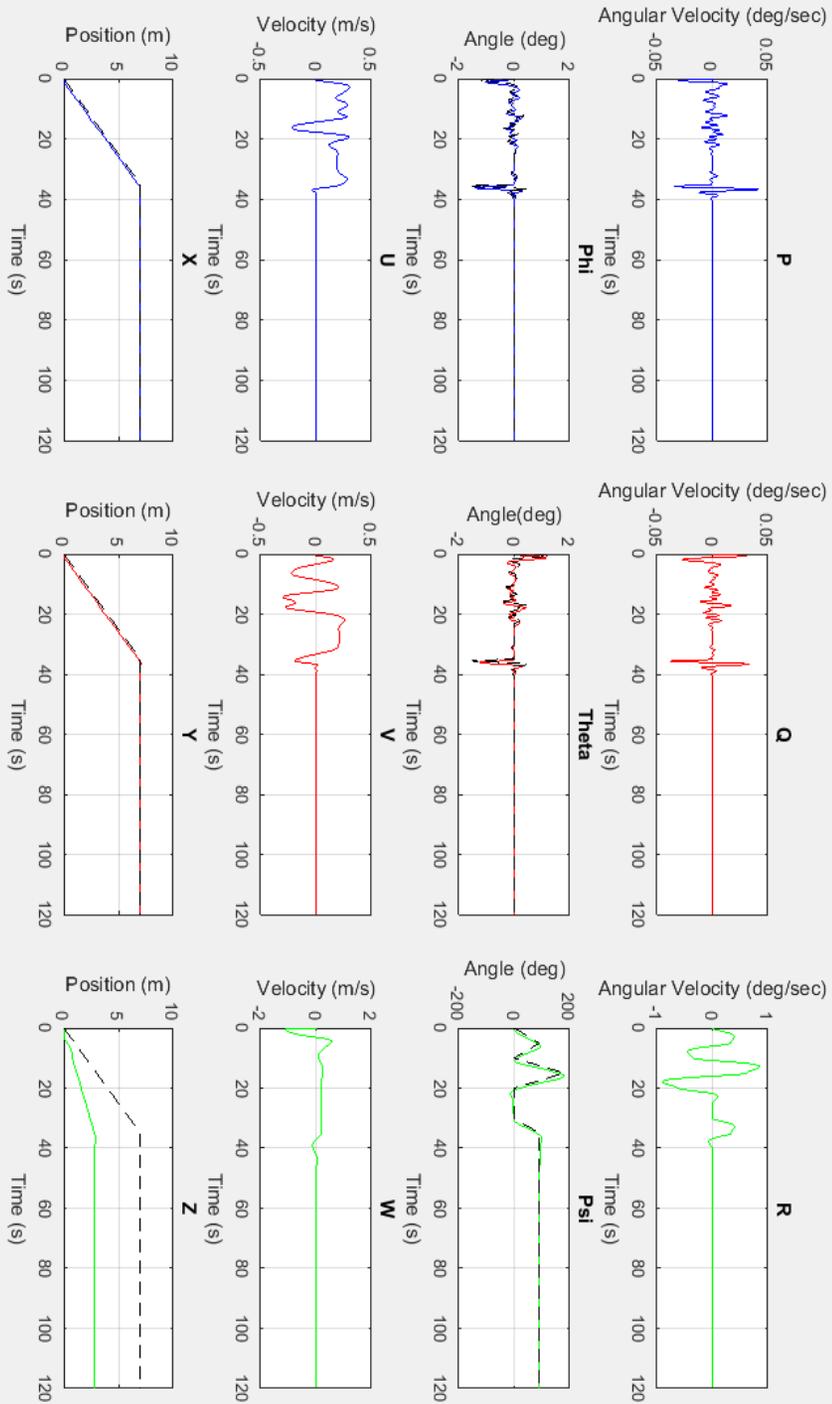
$$U_{roll} = P_{roll} * e(t) + I_{roll} * \int_0^t e(t) dt + D_{roll} * d/dt e(t) \quad (14)$$

إن الهدف الأساسي من عملية التحكم هو تحقيق استقرار النظام خلال فترة زمنية معينة تحقق القيد الزمني المفروض على طائرة رباعية المحرك وإلا فإن النظام سينهار وتسقط طائرة رباعية المحرك.

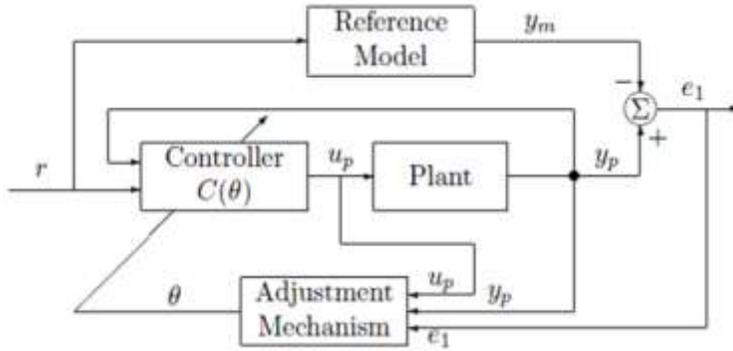
مع تنفيذ وحدة التحكم بنجاح داخل بيئة المحاكاة MATLAB ، كانت الخطوة التالية ضبط وحدة التحكم لكل زاوية موقع. مرة أخرى، سوف نستخدم محور roll على سبيل المثال، على الرغم من أن طريقة الضبط تم تطبيقها على كل محور على حدة. هناك عدة طرق ضبط متاحة الأرباح P، I و D بشكل مناسب لتتطابق مع الاستجابة المطلوبة. تشمل هذه الطرق الضبط اليدوي (التغيير والتبديل حتى تتحقق الاستجابة المطلوبة)، Ziegler-Nichols (الضبط باستخدام خوارزمية المجموعة)، وبرمجيات الضبط، وضبط Cohen-Coon (توفير دخل خطوي، وقياس الاستجابة، ووضع المعاملات من هذه الاستجابة). تم اختيار طريقة ضبط Ziegler-Nichols كخوارزمية ضبط أولى حيث حصلنا على الأرباح التالية : $(K_p=6, k_i=4, k_d=3.5)$. تم اختبار قدرة المتحكم PID على التحكم بالنظام المدروس (رباعية المحرك) وذلك لقيادة الطائرة في مسار من النقطة $(0,0,0)$ وحتى الوصول إلى النقطة $(7,7,7)$ والاستقرار في المكان حتى نهاية زمن المحاكاة البالغ 120 ثانية، ويظهر الشكل (7) استجابة النظام عند وجود المتحكم PID مع زمن محاكاة 120 ثانية. إذ يظهر في الشكل الخطوط البيانية التي تعبر عن الدوال الست: السرعات الزاوية حول كل محور من الإطار OABC والممرزة $[P Q R]$ وزوايا أولر $[Phi \ Theta \ Psi]$ Euler (الانعراج yaw، الانحراف pitch والالتفاف roll) ومكونات السرعة الخطية $[U V W]$ بالنسبة إلى الإطار الثابت وموقع مركز النقل $[XYZ]$. نلاحظ أن النظام مستقر حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية $[P Q R]$ والسرعات الخطية $[U V W]$ و وصول مركز ثقله $[XYZ]$ إلى الهدف المنشود عند الزمن 40 ثانية.

2-3-6 المتحكم ذو النموذج المرجعي Model Reference Adaptive control (MRAC) :

أن MRAC هو أحد الأنواع الرئيسية للتحكم التكيفي، ويُختار النموذج المرجعي ليعطي الخرج المطلوب من النظام y_m ، الذي يجب أن يساويه خرج النظام (plant) أي y_p بحيث يكون الخطأ $e_1 = y_m - y_p$ وهو يمثل انحراف خرج النظام عن الخرج المطلوب أقرب ما يمكن من الصفر. إن نظام الحلقة المغلقة يتكون عادة من تغذية عكسية تحوي



الشكل (7): استجابة النظام مع PID بدون وجود ضجيج.



الشكل (8): البنية العامة لـ MRAC.

النظام (plant) والمتحكم $C(\theta)$ وآلية التعديل (adjustment mechanism) التي تقوم بتوليد تخمينات بارامترات المتحكم $\theta(t)$ بشكل on-line.

إن MRAC يمكن أن يكون مباشر (direct) أو غير مباشر (indirect).

ففي MRAC المباشر: يتم تعديل بارامترات المتحكم $C(\theta)$ وهي θ مباشرةً بواسطة القانون التكيفي (adaptive Law) كما هو مبين في الشكل (8):

يتم في MRAC غير المباشر يتم حساب بارامترات المتحكم θ في كل لحظة زمنية t بحل المعادلة الجبرية التابعة لكل من θ وبارامترات النظام المخمّنة بشكل on-line.

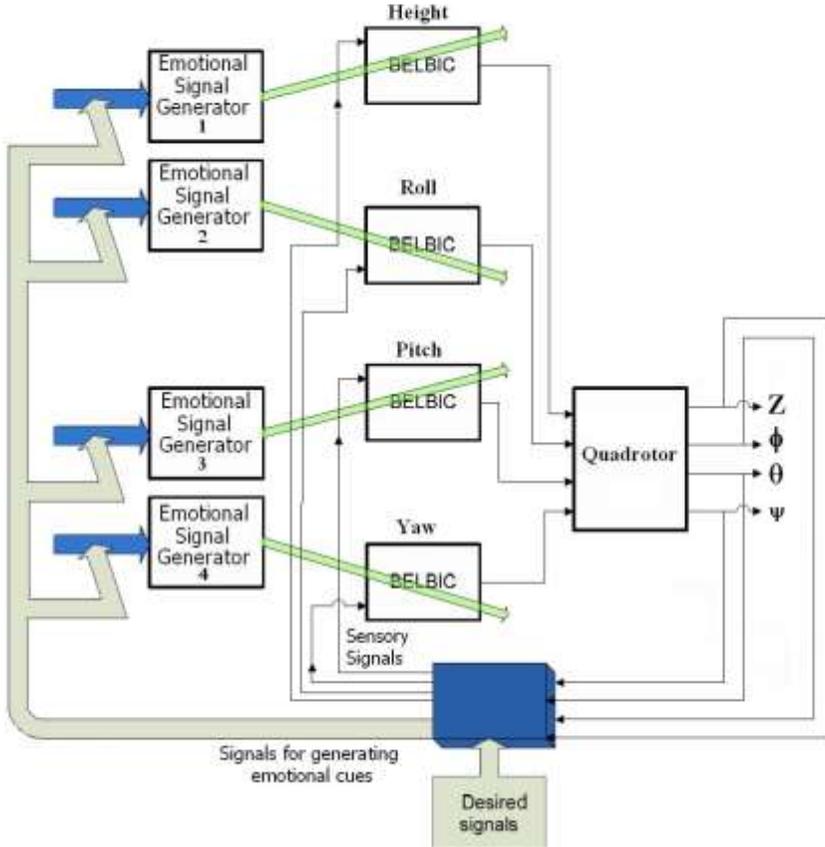
3-3-6 نموذج التحكم المقترح

تم في هذه الدراسة تصميم أربعة كتل BELBIC ضمن وحدة التحكم الذكية. كل كتلة BELBIC مسؤولة عن تحكم في متغير أساسي واحد في الحركة. يوضح الشكل (9) مخطط التحكم المقترح.

تتكون وحدة التحكم المقترحة من أربعة مولدات إشارة تحفيز دماغي (الربح أولية) وأربعة مداخل حسية.

تم اختبار قدرة المتحكم BELBIC علة التحكم بالنظام المدروس (رباعية المحرك) وذلك لقيادة الطائرة في مسار من النقطة $(0,0,0)$ وحتى الوصول إلى النقطة $(7,7,7)$ والاستقرار في المكان حتى نهاية زمن المحاكاة البالغ 120 ثانية، ويظهر الشكل (10) استجابة النظام عند وجود المتحكم BELBIC مع زمن محاكاة 120 ثانية دون وجود ضجيج، إذ يظهر في الشكل الخطوط البيانية التي تعبر عن الدوال الست: السرعات

الزاوية حول كل محور من الإطار O_{ABC} والمرمزة $[P Q R]$ وزوايا أولر Euler $[\Phi \Theta \Psi]$ (الانعراج yaw، الانحراف pitch والالتفاف roll) ومكونات السرعة الخطية $[U V W]$ بالنسبة إلى الإطار الثابت وموقع مركز الثقل $[XYZ]$.

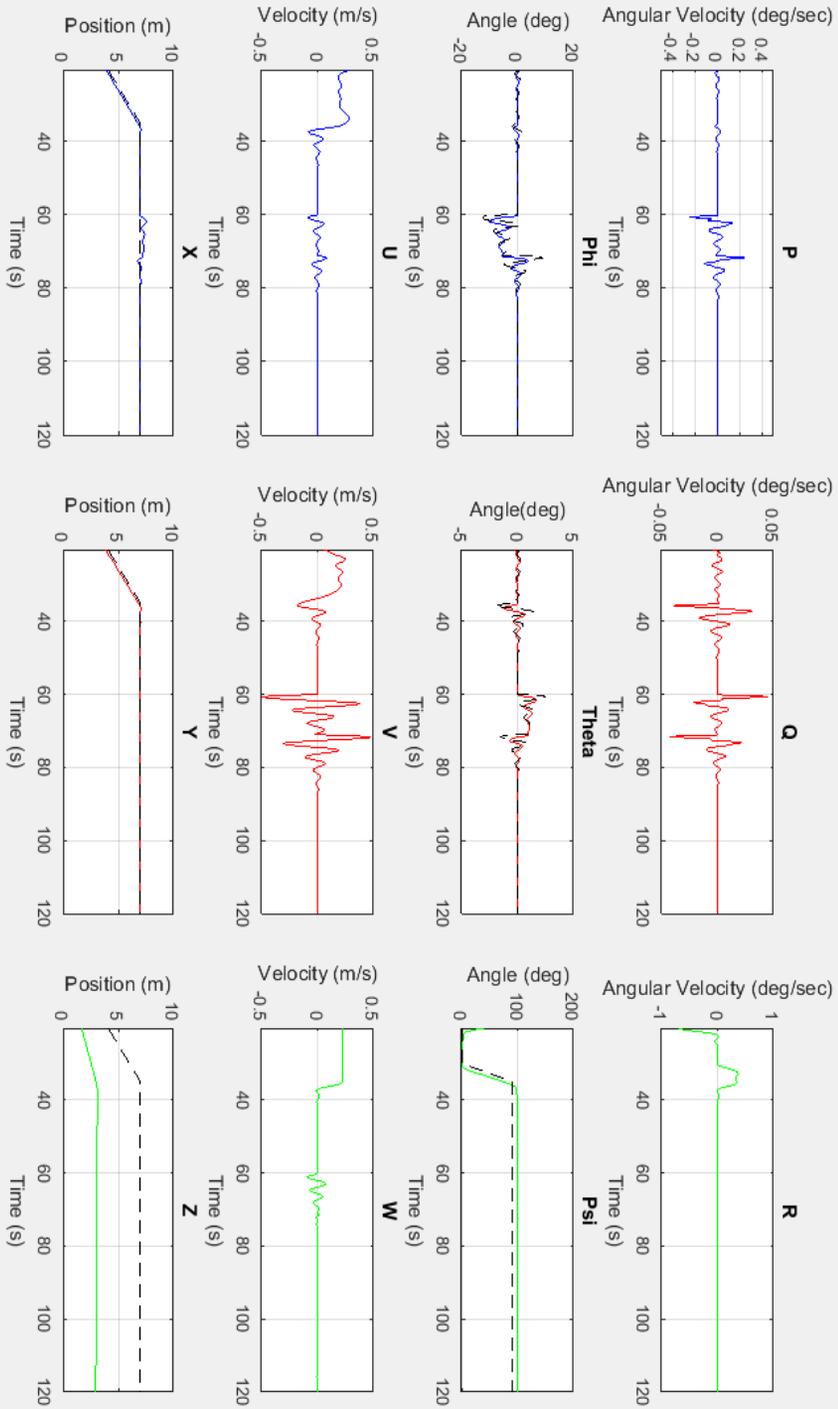


الشكل (9): مخطط التحكم المقترح.

نلاحظ أن النظام مستقر حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية $[P Q R]$ والسرعات الخطية $[U V W]$ و وصول مركز ثقله $[XYZ]$ إلى الهدف المنشود عند الزمن 40 ثانية.

4-6 اختبار النظام ضد الضجيج

قمنا باختبار كل من المتحكم PID والمتحكم ذو النموذج المرجعي والمتحكم BELBIC عند تعريض النظام إلى ضجيج على ثلاث مراحل) وذلك عند انتقال الطائرة



الشكل (10): استجابة النظام مع BELBIC بدون وجود ضجيج.

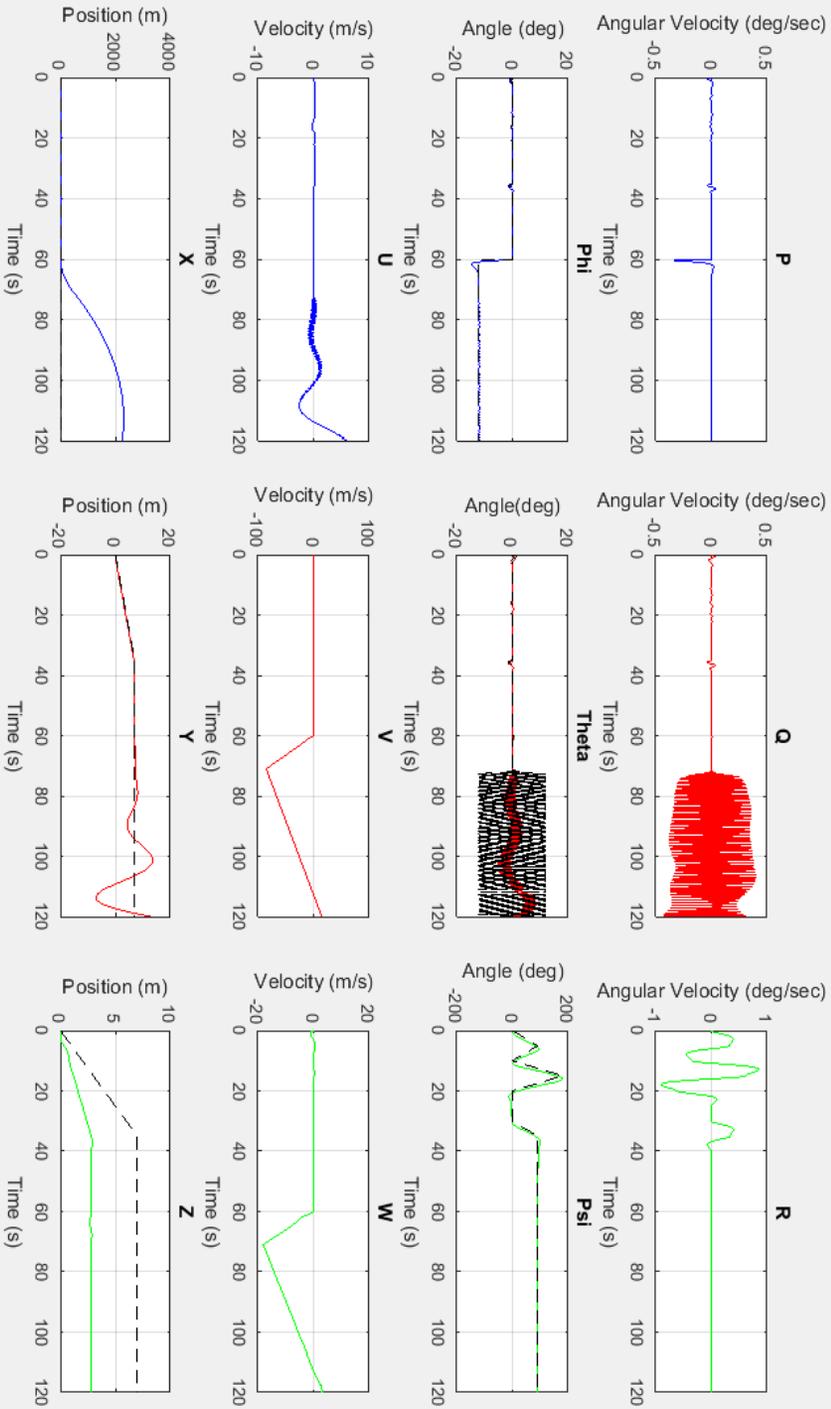
في مسار من النقطة (0,0,0) وحتى الوصول إلى النقطة (7,7,7) والاستقرار في المكان حتى نهاية زمن المحاكاة البالغ 120 ثانية،:

6-4-1 المرحلة الأولى تطبيق الضجيج على محور واحد:

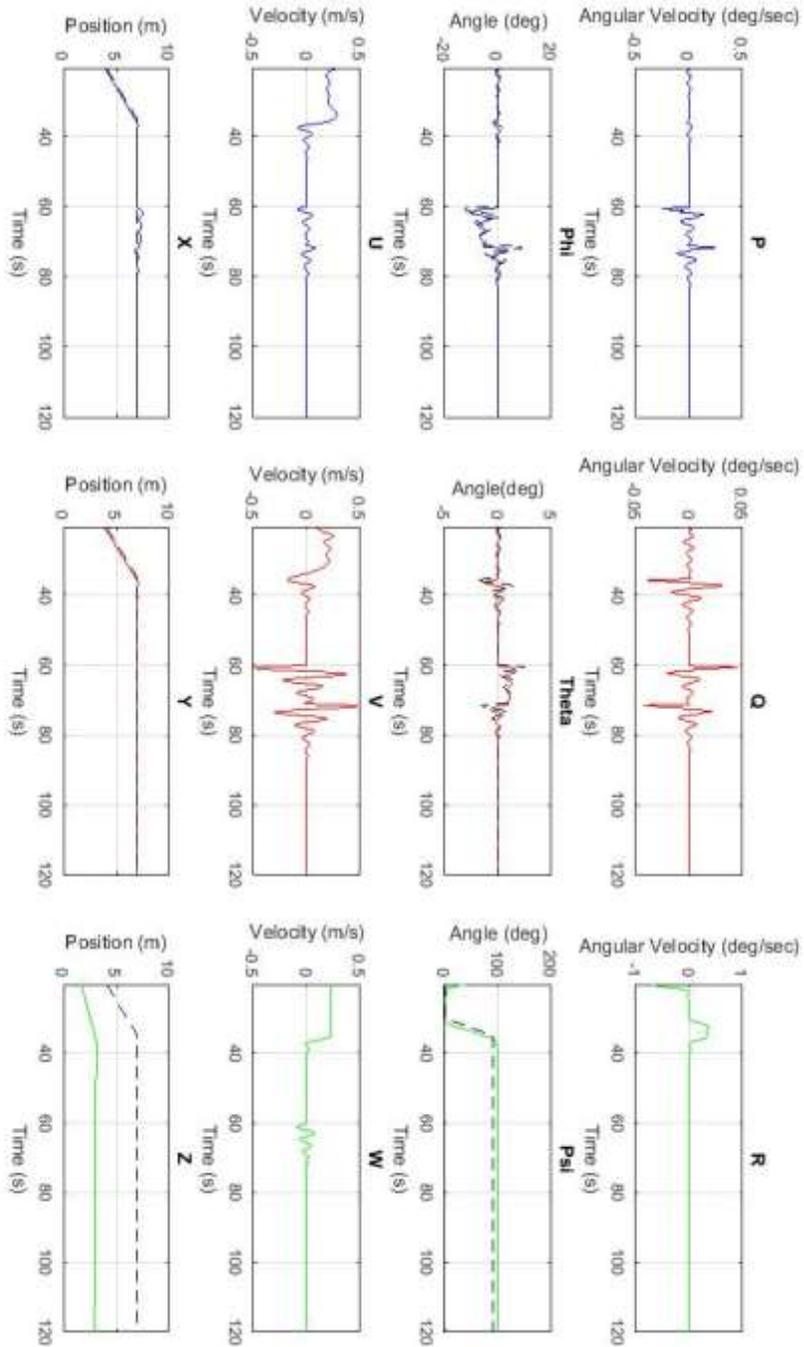
نقوم بتطبيق الضجيج على شكل قوة مطبقة على محور واحد بعد الاستقرار في الفترة الزمنية من الثانية 60 وحتى 70 على كل من نموذج النظام بوجود كل من PID والنظام بوجود BELBIC، يبين الشكل (11) استجابة النظام بوجود المتحكم PID للضجيج، بينما يبين الشكل (12) استجابة النظام بوجود المتحكم BELBIC للضجيج. نلاحظ عدم قدرة المتحكم PID من السيطرة على الضجيج حيث أن النظام أصبح غير مستقر حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] وعدم وصول مركز ثقله [XYZ] إلى الهدف المنشود. ويصبح وبعيد عن الاستقرار، بينما نلاحظ من الشكل أن النموذج المقترح قد استطاع تحقيق الاستقرار في الزمن المحدد، حيث بعد زوال الضجيج الخارجي نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] لفترة زمنية قصيرة ثم تستقر على قيمتها المرجعية (الخطوط المنقطعة)، وبالتالي استطاع تحقيق القيد الزمني المفروض عند التعرض للضجيج. كما نلاحظ بالمقارنة بين الشكلين (11) و(12) نجد الجدول 2:

الجدول (2): مقارنة ما بين استجابة PID و استجابة BELBIC عند تطبيق ضجيج على محور واحد.				
BELBIC	PID	الزمن اللازم للاستقرار بعد زوال الضجيج		
10s	لا يستقر	مجال تأرجح البارامترات المدروسة		
[-0.11→0.28]	[-0.34→0]	P	السرعات الزاوية	
[-0.45→0.48]	[-0.47→0.46]	Q		
[-0.5→0.6]	[-1→0.82]	R		
[-10.9→0]	[-16.5→0]	Phi	زوايا أولر	
[-52.9 → 2.5]	[-11.3→11.8]	Theta		
[0→100]	[0 →188]	Psi		
[-0.1→0.2]	[-3→6.85]	U	السرعات الخطية	
[-0.5→0.48]	[-91→0]	V		
[0.→0.29]	[-19.8→0]	W		

نلاحظ تأرجح بعد القيم مثل Theta و Psi و U و V و W في المتحكم PID بمجال واسع دون المقدرة على الوصول إلى الاستقرار.



الشكل (11) استجابة النظام بوجود المتحكم PID مع ضجيج على محور واحد



الشكل (12) استجابة النظام بوجود المتحكم BELBIC مع ضجيج على محور واحد

6-4-1 المرحلة الثانية تطبيق الضجيج على محورين:

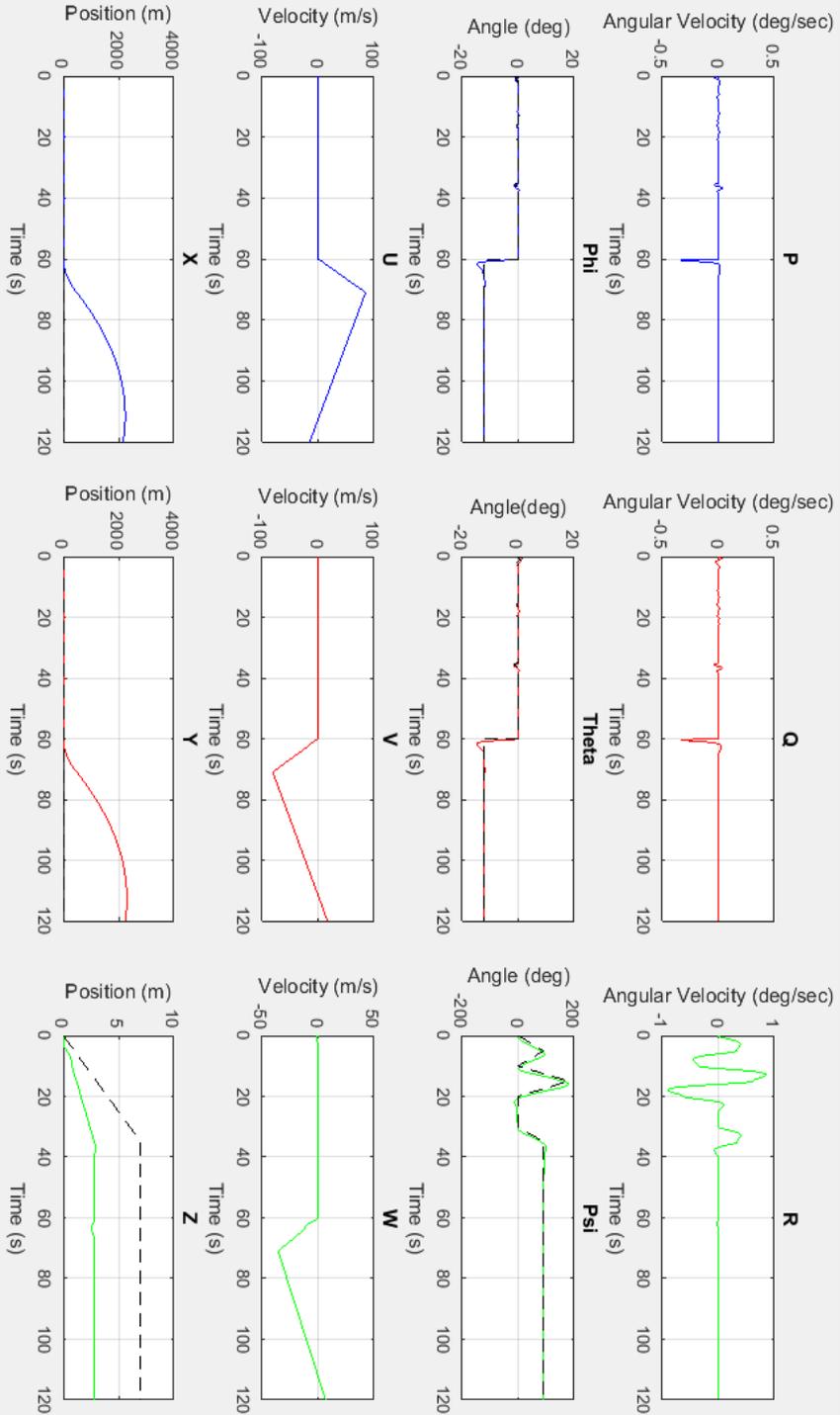
نقوم بتطبيق الضجيج على شكل قوة مطبقة على محورين بعد الاستقرار في الفترة الزمنية من الثانية 60 وحتى 70 على كل من نموذج النظام بوجود كل من PID و النظام بوجود BELBIC، يبين الشكل (13) استجابة النظام بوجود المتحكم PID للضجيج، بينما يبين الشكل (14) استجابة النظام بوجود المتحكم ذو النموذج المرجعي ويبين الشكل (15) استجابة النظام بوجود المتحكم BELBIC للضجيج.

نلاحظ أن المتحكم PID لم يستطيع السيطرة على الضجيج وبالتالي يصبح النظام مهتز حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] ويصبح النظام بعيد عن الاستقرار، ولكن نلاحظ أيضاً أن اهتزاز النظام أقل من الاهتزاز في حالة القوة المطبقة على محور واحد. كما نلاحظ من الشكل عدم مقدرة المتحكم ذو النموذج المرجعي السيطرة على النظام بعد التعرض للضجيج حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W]. بينما نلاحظ من الشكل أن النموذج المقترح قد استطاع تحقيق الاستقرار في الزمن المحدد حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] لفترة زمنية قصيرة ثم تستقر على قيمتها المرجعية (الخطوط المنقطعة) وبالتالي استطاع تحقيق القيد الزمني المفروض عليه عند التعرض للضجيج. كما نلاحظ بالمقارنة بين الشكلين (13) و (15) نجد:

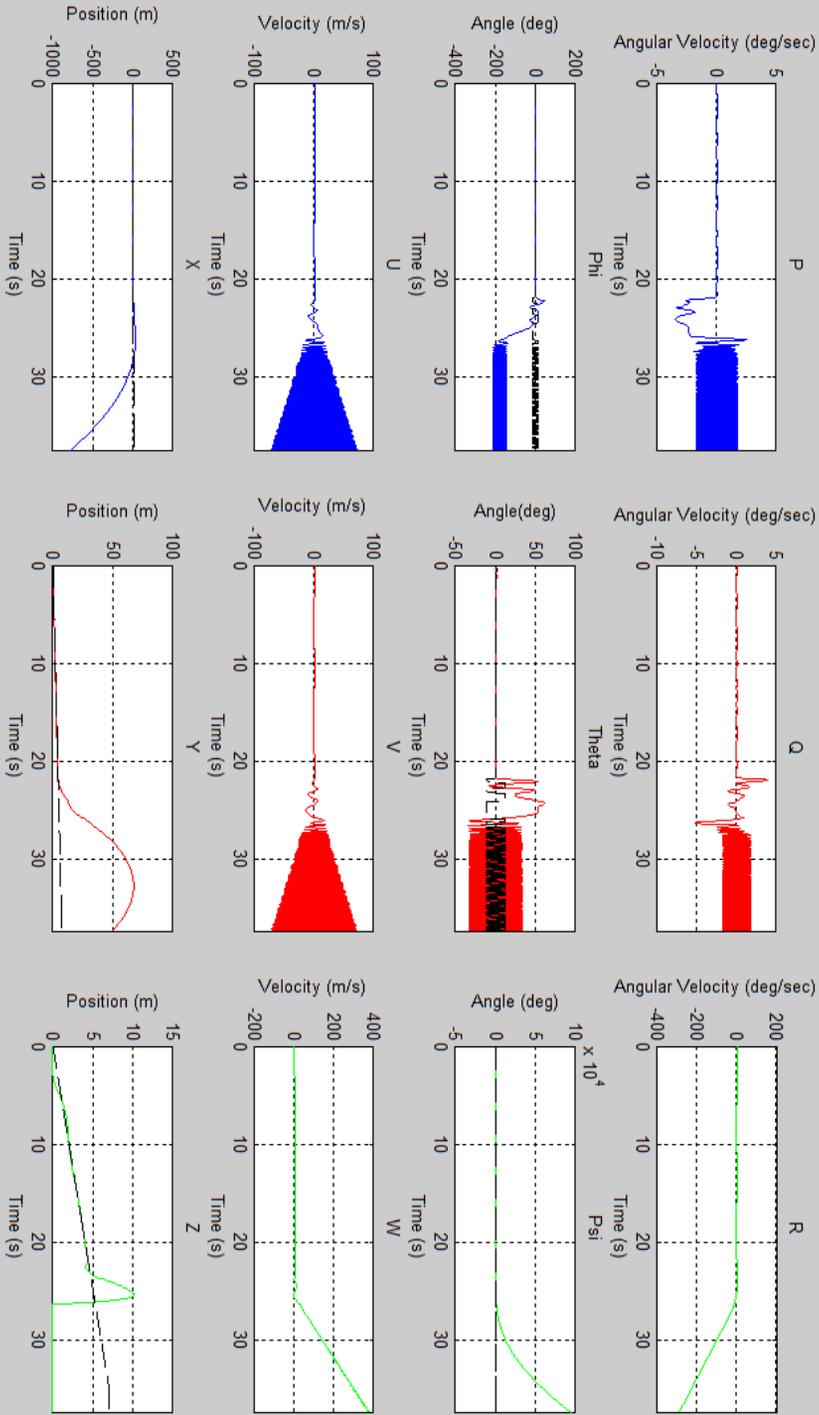
الجدول (3): مقارنة ما بين استجابة PID و استجابة BELBIC عند تطبيق ضجيج على محورين.

BELBIC	PID			
10s	لا يستقر	الزمن اللازم للاستقرار بعد زوال الضجيج		
[-0.25→0.3]	[-0.5→0]	P	السرعات الزاوية	مجال تأرجح البارمترات المدروسة
[-0.3→0.3]	[-0.36→0]	Q		
[-0.7→0.4]	[-0.6→0.8]	R		
[-11.8→0]	[-17→0]	Phi	زوايا أولر	
[-11.3→0]	[-15→0]	Theta		
[0→100]	[0 →188]	Psi		
[-0.47→0.44]	[0→89]	U	السرعات الخطية	
[-0.44→0.8]	[-94→0]	V		
[0→0.35]	[-30→0]	W		

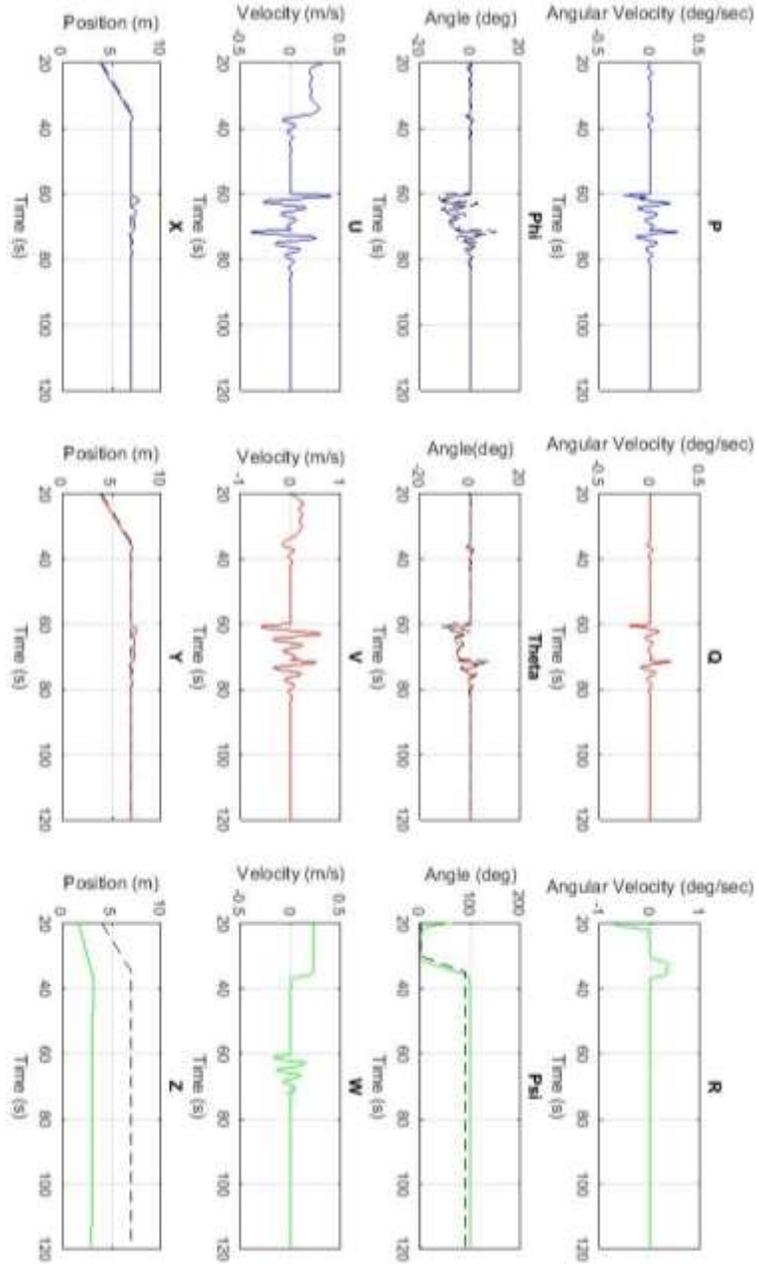
نلاحظ تأرجح بعد القيم مثل Psi و U و V و W في المتحكم PID بمجال واسع دون المقدرة على الوصول إلى الاستقرار.



الشكل (13) استجابة النظام بوجود المتحكم PID للمنحنج على محورين



الشكل (14) استجابة النظام عند استخدام المتحكم ذو النموذج المرجعي مع ضجيج على محورين.



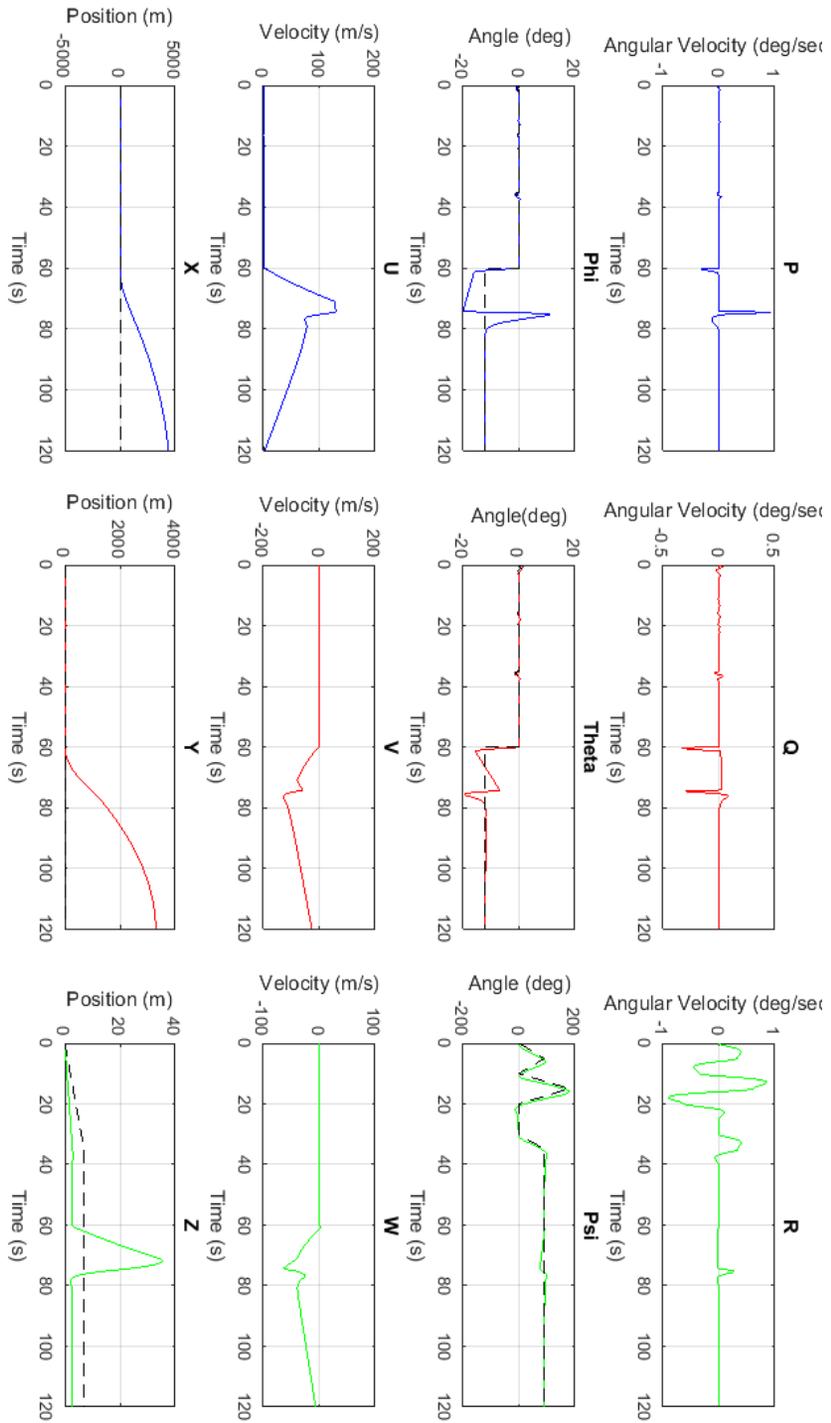
الشكل (15) استجابة النظام بوجود المتحكم BELBIC للضجيج على محورين

6-4-1 المرحلة الثالثة تطبيق الضجيج على ثلاثة محاور:

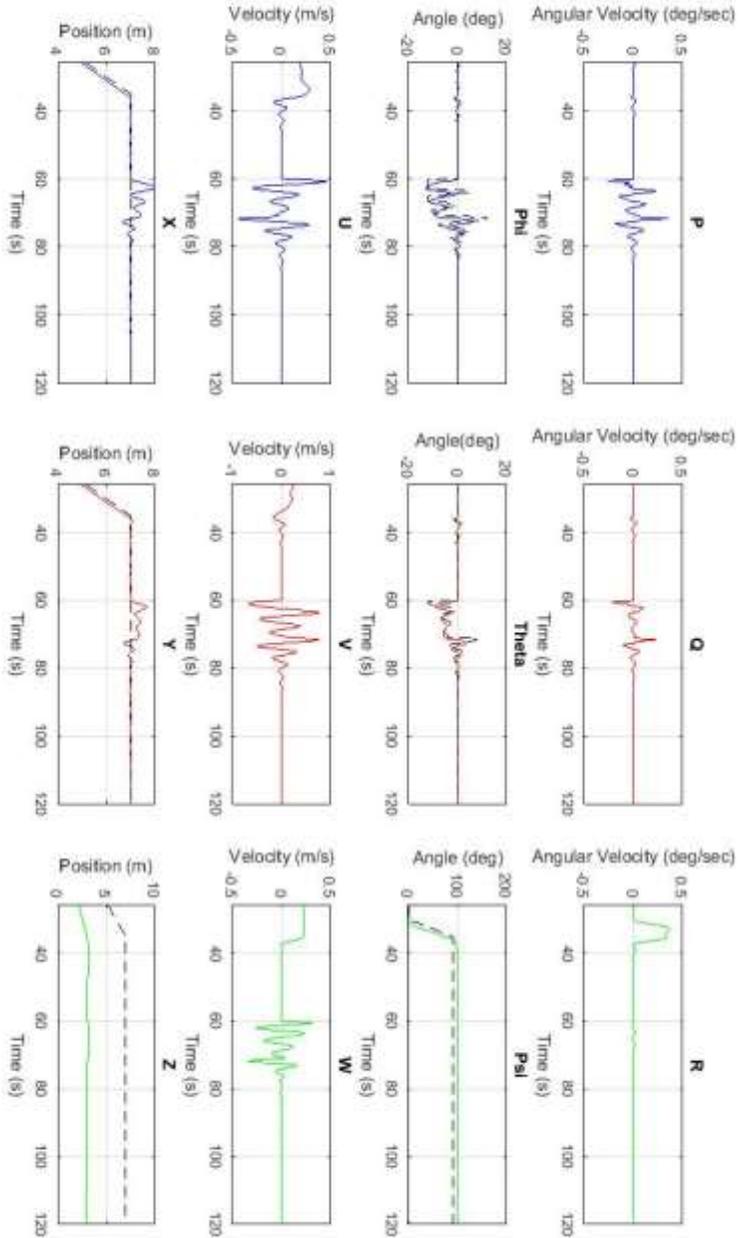
نقوم بتطبيق الضجيج على شكل قوة مطبقة على ثلاثة محاور بعد الاستقرار في الفترة الزمنية من الثانية 60 وحتى 70 على كل من نموذج النظام بوجود كل من PID و النظام بوجود BELBIC، يبين الشكل (16) استجابة النظام بوجود المتحكم PID للضجيج، بينما يبين الشكل (17) استجابة النظام بوجود المتحكم BELBIC للضجيج. نلاحظ أن المتحكم PID لم يستطع السيطرة على الضجيج وبالتالي يصبح النظام مهتز حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] ويصبح النظام بعيد عن الاستقرار، ولكن نلاحظ أيضاً أن اهتزاز النظام أقل من الاهتزاز في حالة القوة المطبقة على محور واحد. بينما نلاحظ من الشكل أن النموذج المقترح قد استطاع تحقيق الاستقرار في الزمن المحدد حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] لفترة زمنية قصيرة ثم تستقر على قيمتها المرجعية (الخطوط المنقطه) وبالتالي استطاع تحقيق القيد الزمني المفروض عليه عند التعرض للضجيج. كما نلاحظ بالمقارنة بين الشكلين (16) و(17) نجد:

الجدول (4): مقارنة ما بين استجابة PID و استجابة BELBIC عند تطبيق ضجيج على ثلاث محاور.			
BELBIC	PID	الزمن اللازم للاستقرار بعد زوال الضجيج	
10s	لا يستقر	السرعات الزاوية	
[-0.27→0.37]	[-1→1]	P	مجال تأرجح البارمترات المدروسة
[-0.26→0.25]	[-0.2→0]	Q	
[0→0.34]	[-0.5→0.7]	R	
[-14→17]	[-20→0]	Phi	زوايا أولر
[-13.5→8]	[-19.3→0]	Theta	
[0→100]	[0 →179]	Psi	السرعات الخطية
[-0.35→0.5]	[-0→128]	U	
[-0.68→0.68]	[-118→0]	V	
[-0.34→0.43]	[-65→0]	W	

نلاحظ تأرجح بعد القيم مثل Psi و U و V و W في المتحكم PID بمجال واسع دون المقدرة على الوصول إلى الاستقرار.



الشكل (16) استجابة النظام بوجود المتحكم PID للضجيج على ثلاثة محاور



الشكل (17) استجابة النظام بوجود المتحكم BELBIC للضجيج على ثلاثة محاور

في النتيجة، استطاع هذا النظام المقترح بتحقيق القيد الزمني المفروض، وتحقيق الاستقرار للنظام حتى بعد تطبيق ضجيج على ثلاثة محاور، وتفوق على متحكم PID في التغلب على جميع أنواع الضجيج المطبق.

7- الاستنتاجات:

تم استخدام المتحكم BELBIC للتحكم في موقع ومسار الطائرة رباعية الدوار Quadcopter خلال تعرض الطائرة إلى عدة أنواع من الضجيج وتمت مقارنة النتائج مع وحدة تحكم PID تقليدية مضبوطة جيداً ومتحكم ذو نموذج مرجعي، ومن خلال الأشكال والجدول نلاحظ أن النتائج قد أظهرت أداء جيد لتطبيق المتحكم BELBIC على الطائرة المذكورة حيث يستقر النظام عند استخدام BELBIC عند اللحظة 77 عند تطبيق ضجيج على محور واحد وعند الحظة 82 عند تطبيق ضجيج على محورين وعند اللحظة 81 عند تطبيق الضجيج على ثلاث محاور أما في حالة PID فهو لا يستقر في الحالات الثلاثة.

وبالتالي قمنا من خلال متحكم BELBIC التخلص من الآثار السلبية للضجيج على النظام.

8- الأفاق المستقبلية:

تم في هذا البحث دراسة تأثير الضجيج على عدة محاور على التحكم بنظام طائرة رباعية الدوار Quadcopter ، بما أن الطائرة رباعية الدوار تطير في الجو بعيداً عن المحطة الأرضية التي تتحكم بها، وهناك عملية تبادل للرسائل ما بين المحطة الأرضية والطائرة، حيث تقوم المحطة الأرضية بإرسال إشارات التحكم المناسبة لها واستقبال إشارات التغذية العكسية. من الممكن في الدراسات المستقبلية دراسة مشكلة ضياع رزم الرسائل في كل من المسار الأمامي (من المتحكم إلى النظام) أوالمسار العكسي (من النظام إلى المتحكم) حتى ندرس مدى قدرة المتحكم على التغلب على مشكلة ضياع الرزم.

قائمة المراجع:

- [1] SHAHMIRZADI, DANIAL-2005 "**Computational Modeling of the Brain Limbic System and Its Application in Control Engineering.**" Texas A&M.
- [2] Hassen T. Dorrah, Ahmed M. El-Garhy, Mohamed E. El-Shimy- 2011 "**PSOBELBIC Scheme for Two-Coupled Distillation Column Process.**" Journal of Advanced Research 2, : 73-83.
- [3] Saeed Jafarzadeh, Rooholah Mirheidari, Mohammad Reza Jahed Motlagh, Mojtaba Barkhordari. 2008"**Intelligent Autopilot Control Design for a 2-Dof Helicopter Model.**" International Journal of Computers, Communications & Control 3, no. Proceedings of ICCCC 2008: 337-342.
- [4] Maziar A. Sharbafi, Caro Lucas, Roozbeh Daneshvar. 2010 "**Motion Control of Omni-Directional Three-Wheel Robots by Brain-Emotional- Learning-Based Intelligent Controller.**" IEEE transactions on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews 40, no. 6: 630-638.
- [5] Changwon Kim, Reza Langari. 2009 "**Target Tracking Control of a Mobile Robot Using a Brain Limbic System Based Control Strategy.**" In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 5059-5064. St. Louis, USA.
- [6] A. Benallegue, A. Mokhtari and L. Fridman.2007 "**High-Order Sliding-Mode Observer for a Quadrotor UAV.**" International Journal of Robust and Nonlinear Control.
- [7] Hana Boudjedir, Omar Bouhali and Nassim Rizoug. 2012 "**Neural Network Control Based on Adaptive Observer for Quadrotor Helicopter.**" International Journal of Information Technology, Control and Automation, vol.2, no. 3, pp. 39-54,.
- [8] Haitham Bou-Ammar, Holger Voos, Wolfgang Ertel. 2010 "**Controller Design for Quadrotor Uavs Using Reinforcement Learning.**" In IEEE International Conference on Control

Applications Part of 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, pp. 2130-2135. Yokohama, Japan.

[9] Bara J. and A. Yesildirek(2013): **Nonlinear Composite Adaptive Control for Quadrotor**, American University of Sharjah, UAE.

[10] C. Balkenius, J. Moren. Emotional Learning: "A **Computational Model of the Amygdala**". *Cybernetics and Systems: An International Journal*, Vol. 32, (2001), pp. 611-636.

[11] Qiuxia Wu, Chih-Min Lin 2020 "**Self-organizing Brain Emotional Learning Controller Network for Intelligent Control System of Mobile Robots**" JOURNAL OF LATEX CLASS FILES, VOL. 14, NO.

[12] M. Samadi, A. Afzali-Kusha and C. Lucas, 2007 "**Power Management by Brain Emotional Learning Algorithm**", *Proceedings of 7th International Conference on ASIC*, pp. 78 – 81.

[13] S. Klecker, P. Plapper, 2019 "**BELBIC-Sliding mode control of robotic manipulators with uncertainties and switching constraints**", *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE)*.

تحسين موثوقية شبكات ال CDMA1O اعتماداً على رموز الترابط المتبادل المعدوم ZCCC والبوابات المنطقية

طالب الدراسات العليا: حنان حسان

كلية: الهك - جامعة: دمشق

الدكتور المشرف: جمان أبو جيب + د. عبد الكريم السالم

ملخص

يتزايد يوماً بعد يوم أهمية الأمن في شبكات الاتصالات الضوئية حيث يمكن للمتتصت اعتراض البيانات باستخدام المعدات المتطورة ويمكنه أيضاً الاستفادة من هذه البيانات. في هذه البحث، يتم تحسين الأمن من خلال دمج رموز ذات ارتباط متبادل معدوم مع بوابة EX-OR الضوئية المستخدمة في عملية التشفير. يتم ترميز البيانات المرسله عبر شبكة CDMA ثم تشفر لحمايتها من المتتصتين أو أي مهاجمين آخرين.

تم في هذا البحث دراسة أداء الشبكة قبل و بعد تعرضها للتتصت باستخدام برنامج ال optisystem17 وتم أيضاً تقييم أداء النظام المقترح من خلال معدل خطأ البت BER وعامل الجودة وشكل مخطط العين وذلك على مسافات إرسال مختلفة. وقد تبين من النتائج أن عملية الترميز باستخدام رموز ZCC تضمن جودة عالية وتحقق أداء أفضل بالمقارنة مع رموز أخرى ذات بعد واحد. بالإضافة إلى ضمان موثوقية تامة للمعلومات المرسله من خلال استخدام بوابة EX-OR.

الكلمات المفتاحية: شبكات النفاذ المتعدد بتقسيم الرمز الضوئي(OCDMA)، بوابة EX-OR الضوئية، رموز ذات ترابط متبادل معدوم(ZCCC)، معدل خطأ البت(BER)، عامل الجودة.

Confidentiality Enhancement of OCDMA Networks Based on Zero-Cross Correlation Codes and Logic Gates

Eng. Hanan Hassan

Dr. Jouman Abou Jeib

Pro.

Abdulkarim Assalem

Abstract

The importance of security in optical communications networks is increasing day by day since an eavesdropper can intercept data using advanced equipment and can also tap this data. In this paper, confidentiality has been improved by incorporating zero cross-correlation codes with an optical EX-OR gate using in the encryption process. The data in the OCDMA network is encoded and then encrypted to protect data from eavesdroppers and any others attackers.

In this work, the network performance before and after being eavesdropped using optisystem17 is analyzed , and evaluated in term of bit error rate (BER), quality factor and eye diagram at different transmission distances is also analyzed. The results showed that the encoding process using ZCC codes has higher quality and better performance compared to other 1D codes, in addition to ensuring the confidentiality of the transmitted data by using EX-OR gate.

Key Words: Optical Code Division Multiple Access Networks (OCDMA Networks), Optical EX-OR Gate, Zero Cross Correlation Code (ZCCC), Bit Error Rate (BER), Q-factor.

1- مقدمة:

توفر أنظمة النقل في شبكات الاتصالات خدمة نقل البيانات للعملاء والمستخدمين، وتميز معاملات مثل الأداء والأمن والموثوقية نوعية خدمة النقل. أولت أنشطة البحث في شبكات الاتصالات الأمانة اهتماماً ضئيلاً للمقايضة بين متطلبات الأمن وغيرها من متطلبات جودة خدمات الاتصال، في حين أن الأمن يشكل مصدر قلق رئيسي في نظم الاتصالات الجماعية الأمانة سواء في الشبكات اللاسلكية أو الضوئية على حد سواء فإن آليات الأمن المستخدمة كثيراً ما تكون لها آثار ضمنية على أداء النظام [1].

على الرغم من المزايا المهمة لنظام OCDMA، فإنه يعاني بعض القيود أيضاً، حيث يعاني ال OCDMA من تداخل وصول متعدد Multiple Access Interference، يتم ضبط المستقبل المرغوب فقط للكشف عن إشارة البيانات الخاصة به مع الأخذ في الاعتبار الإشارات الأخرى كضجيج. يزيد MAI من معدل خطأ البت BER مع زيادة عدد المستخدمين. يمكن حل هذه القيود المفروضة على نظام OCDMA من خلال زيادة وزن وطول الرمز، وباستخدام الترميز ذات الترابط المتبادل شبه المعدوم [2].

2- هدف البحث وأهميته:

يهدف هذا البحث إلى تحسين موثوقية المعلومات المرسلة في الشبكات الضوئية باستخدام النفاذ المتعدد بتقسيم الرمز من خلال الدمج بين بوابات EX-OR الضوئية التي تستخدم لعملية التشفير وفك التشفير ومرمزات ومفككات ترميز WDM لتوليد رموز ذات ترابط متبادل معدوم ZCC Code، بالإضافة إلى تحليل ودراسة أداء الطرق المستخدمة وأثرها على جودة البيانات المرسلة.

3- منهجية البحث وأدواته:

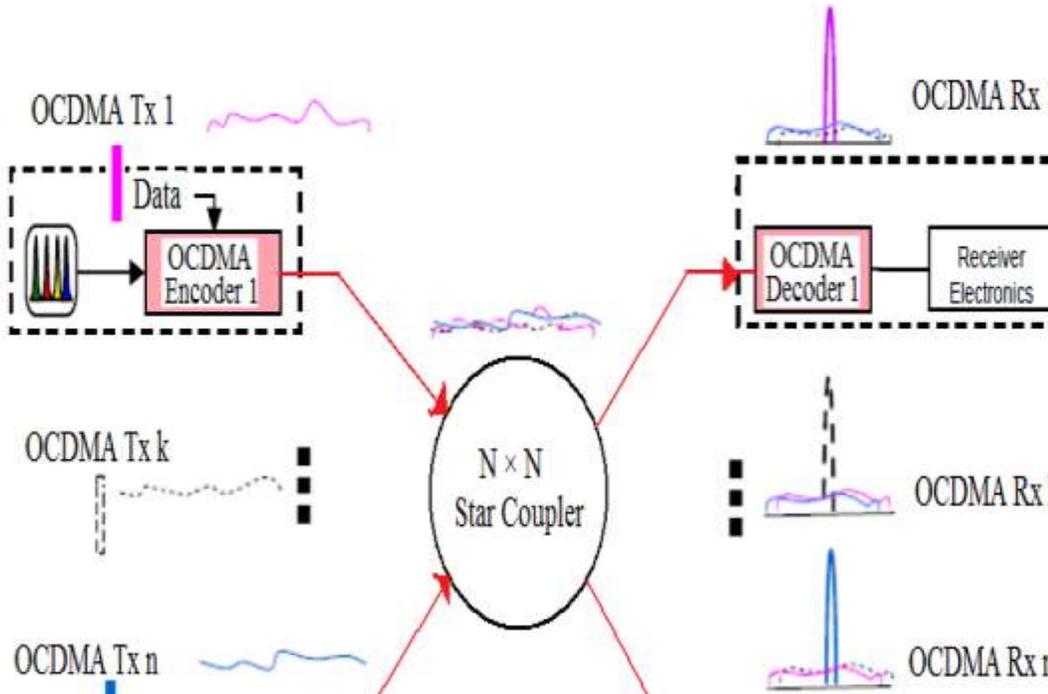
في برنامج المحاكاة Optisystem 17 تمت محاكاة التصميم الجديد من شبكات النفاذ المتعدد الضوئية بتقسيم الرمز، وتم التركيز في برنامج المحاكاة على تحليل مخطط العين ومعدل خطأ البت بالإضافة إلى عامل الجودة كمقاييس مهمة في التحليل والتنبؤ

عن مستوى احتمال تعرض التصميم الجديد للشبكة للأخطاء وبناءً على نتائج المحاكاة تم التوصل لإثبات الفرضيات والتأكد من صحتها.

4-الأساسيات النظرية:

4-1 النفاذ المتعدد بتقسيم الرمز الضوئي OCDMA:

الوصول المتعدد بتقسيم الرمز الضوئي OCDMA هي تقنية لتحقيق الإرسال المتعدد والوصول المتعدد عن طريق الترميز في المجال الضوئي الذي يدعم عمليات الإرسال المتزامنة وغير المتزامنة. لقد أصبحت تقنية واعدة لتنفيذ مختلف أنواع الاتصالات الضوئية التي تستخدم معالجة الإشارات الضوئية التي تجمع بشكل مباشر بين مزايا أجهزة معالجة الإشارات الضوئية والألياف الضوئية. يوضح الشكل (1) البنية العامة لشبكة OCDMA. من بين المزايا الأخرى التي توفرها OCDMA إمكانياتها العالية لتعزيز أمن المعلومات. يتعامل الأمن مع البيانات المشفرة بطريقة يصعب فك تشفيرها بدون بعض المعلومات السرية، حتى لو كان شكل البيانات المشفر سهل القراءة. لذلك فقد حظي OCDMA باهتمام كبير في السنوات الأخيرة بسبب ميزاته المتعددة [4]. الفرق الرئيسي لأنظمة O-CDMA عن CDMA اللاسلكية هو بنية الرمز. يتم تعديل شدة الإشارة الضوئية بشكل أساسي، وبالتالي فإن الشرائح الموجودة في نظام O-CDMA تتبدل بين "1" و "0" بدلاً من "1-" و "1+".



الشكل (1): البنية العامة لشبكة OCDMA [3]

يمثل الشكل السابق بنية شبكة OCDMA التي تتألف من n مرسل و n مستقبل، تُجمع إشارات جميع المستخدمين باستخدام Star Coupler ثم ترسل عبر الليف الضوئي بعد ترميزها باستخدام رمز OCDMA، ليتم في جهة الاستقبال استقبالها و فك ترميزها ومن ثم تحويلها إلى إشارة كهربائية ليتم دراستها وتحليلها.

2-4 نظام OCDMA المتزامن وغير المتزامن :

يمكن تصنيف أنظمة OCDMA إلى فئتين: متزامن وغير متزامن. تتمتع الأنظمة المتزامنة بسعة أعلى ولكن على حساب كونها أنظمة أكثر تعقيداً ، بينما تدعم الأنظمة غير المتزامنة عدداً محدوداً من المستخدمين ولكنها لا تتطلب أي نوع من التزامن. من الجدير بالذكر أن عدم التزامن هو أحد أكثر الميزات إثارة للاهتمام في OCDMA. يمكن تطبيق أنظمة OCDMA غير المتزامنة على سيناريوهات مختلفة للشبكة على سبيل المثال، شبكة المنطقة المحلية وأنظمة الوسائط المتعددة ، ويمكن زيادة قدرة الأنظمة غير المتزامنة بمساعدة الرموز ثنائية الأبعاد وثلاثية الأبعاد. على

سبيل المثال، من الممكن استخدام مخططات ترميز ثنائية الأبعاد تعتمد على مزيج من الزمن أو القطاع الفضائي أو انتشار الطول الموجي لزيادة قدرة النظام[5].

4-3 نظام OCDMA المترابط وغير المترابط :

تصنف أنظمة OCDMA على أنها مترابطة وغير مترابطة حيث تعتمد الأنظمة غير المترابطة على تعديل الشدة والكشف المباشر، تجعل عملية الكشف المباشر الإجراء بسيطاً ويكون جهاز الاستقبال بسيطاً قليل التكلفة. يكتشف الكاشف الضوئي استطاعة الإشارة الضوئية ولا يكشف تغيرات الطور اللحظية للإشارة الضوئية وبالتالي يمكن استخدام تقنيات معالجة الإشارات غير المتماسكة لمعالجة تسلسلات الرموز المؤلفة من الأصفار والواحدات والتي تقيد نوع الرمز في أنظمة OCDMA[6].

في أنظمة OCDMA المترابطة، تعد معلومات الطور للحامل الضوئي أمراً بالغ الأهمية لعملية كشف الإشارة. نظراً لطبيعة النقل في الألياف الضوئية وتأثيراتها غير الخطية تصبح عملية تصميم المستقبل أكثر تعقيداً ومع ذلك يتفوق أداء النظام المترابط على غير المترابط لأن المستقبل أكثر حساسية لنسبة الإشارة إلى الضجيج مما يجعل أداء النظام أفضل بشكل عام.

4-4 موثوقية البيانات:

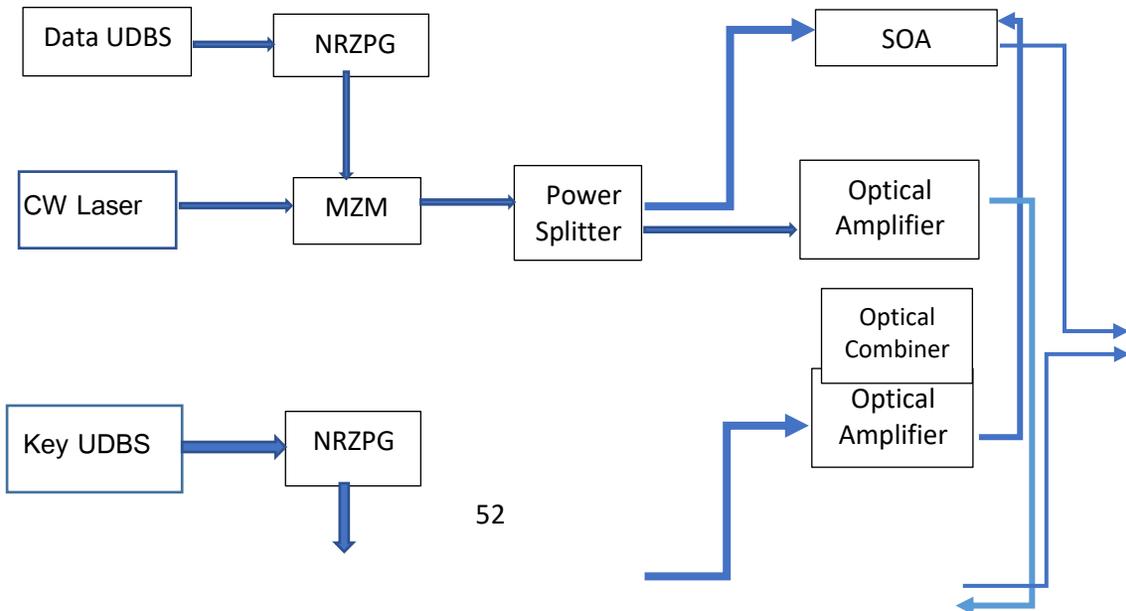
تكفل موثوقية البيانات عدم الكشف عن البيانات السرية للأشخاص غير المصرح لهم. وتكفل خصوصية البيانات أن لا تتوافر لهؤلاء الأشخاص غير المصرح لهم الوسائل التقنية للوصول إليها. تحمي تقنيات التشفير سرية نقل البيانات عن طريق تشفير البيانات الأصلية إلى نص تشفير. فإذا كان من المستحيل تقريباً قراءة البيانات، فإنها لم تعد مناسبة لأي مستمع (متنصت). وقد تم اقتراح العديد من نُهج التشفير بما في ذلك تشفير الإشارات الضوئية بأكملها على استخدام بوابات EX-OR الضوئية المستخدمة في هذا البحث أو مفاتيح التشفير المقطعة طيفياً [7].

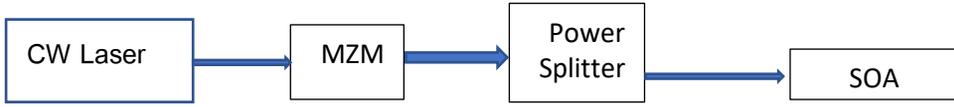
4-5 بوابة EX-OR :

تمّ تصميم بوابة EX-OR باستخدام المضخمات البصرية لأنصاف النواقل SOA والتي تؤدي الوظيفة المنطقية لهذه البوابة ويمكن أن تعمل مع سرعة بيانات تصل حتى 10 Gb/s. تتألف هذه البوابة من مدخلين فقط، عندما يتماثل المدخلين سواء (1) أو (0) سوف يكون خرج بوابة EX-OR مساوياً للصفر ومن ناحية أخرى إذا كان المدخلين مختلفين سنحصل على خرج يساوي الواحد، حيث كل من المدخلين عبارة عن سلسلة من بتات بيانات NRZ [8].

4-6 تصميم بوابة EX-OR باستخدام ال Optisystem :

يتم استخدام تسلسل بتات معرف من قبل المستخدم User Defined Bit Sequence لتمثل تسلسل بيانات المستخدم وتسلسل المفتاح، يستخدم المعدل Mach Zender لتعديل تسلسل البتات وتحويلها إلى إشارة ضوئية، يتم استخدام SOA للحفاظ على الوظيفة المنطقية ويتم استخدام مضخم ضوئي لتضخيم الإشارة، كما هو موضح بالشكل (2) [8].





الشكل(2): بنية بوابة EX-OR [8]

يوضح الشكل السابق بنية بوابة EX-OR الضوئية التي تتألف من المكونات التالية:

مولد تسلسل بتات محدد من قبل المستخدم (Data User Defined Bit Sequence (Data UDBS):

مولد نبضات مع عدم العودة إلى الصفر (Non_Return_to_Zero Pulse Generator(NRZPG):

ليزر إشارة مستمرة لتوليد إشارة الحامل الضوئي (Continous Wave Laser (CW Laser):

معدل ماك-زيندر (Mach-Zehender Modulation (MZM):

مقسم ضوئي (Power Splitter :

مضخم ضوئي لأنصاف النواقل مسؤول عن الوظيفة (Semiconductor : Optical Amplifier(SOA) المنطقية لبوابة EX-OR

مضخم ضوئي (Optical Amplifier :

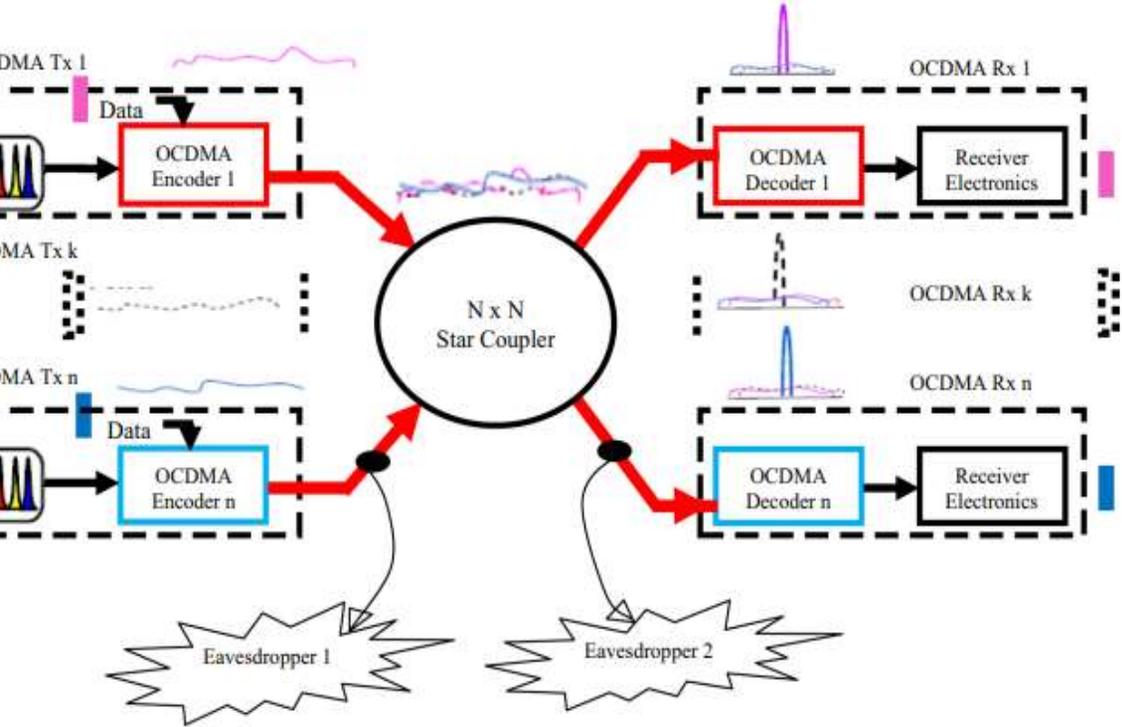
مولد تسلسل بتات محدد من قبل المستخدم لتوليد مفتاح التشفير: (Key User Defined Bit Sequence(UDBS)

ضوئي

جامع

Optical Combiner :

يمكن أن تتأثر درجة الأمن في أي تحقيق أمني تأثراً قوياً بالعديد من الافتراضات. وتشمل هذه الافتراضات إجراء عمليات التنصت في المواقع المبينة في الشكل (3). والمهاجمون (المتسمعين أو المتنصتين) أذكىء تكنولوجياً مع معرفتهم للإشارات التي تنتقل في شبكات CDMA الضوئية (أي بنية الشبكات ، وأنواع الإشارات ، ومعدلات البيانات، ونوع الترميز ، وهيكل الرموز ، والتزامن، وما إلى ذلك)[1].



الشكل (3) شبكة OCDMA متعرضة للتنصت [9]

يوضّح الشكل السابق شبكة OCDMA تتعرض للهجوم من قبل المتنصتين وذلك بعد تجميع إشارات المستخدمين وإرسالها عبر الليف الضوئي.

4-7 التنصت في الشبكات الضوئية:

تُعد الشبكات الضوئية عرضة لعدة أنواع من الهجمات، التي تهدف عادة إلى تعطيل الخدمة أو الحصول على وصول غير مصرح به إلى البيانات المنقولة (التنصت)، وعلى الرغم من أن الألياف الضوئية محصنة ضد التداخل الكهرومغناطيسي ولا تشع إشارات تحمل إلى البيئة، فإن تعرض الشبكات الضوئية للتنصت يشكل تهديداً أمنياً كبيراً حيث يهدف التنصت بشكل عام إلى الوصول غير المصرح به إلى البيانات من أجل جمع أو تحليل حركة مرور البيانات والوصول إلى المعلومات.

توجد طريقة شائعة لتحقيق هجمات التنصت وهو الوصول مباشرة إلى القناة الضوئية عن طريق التنصت على الألياف، أجهزة التنصت التي يمكن وصلها على الألياف وتسبب الانحناءات الدقيقة لتسرب الإشارات ووصولها للمتصت يمكن الوصول إليها بسهولة في السوق. وعلاوة على ذلك، أجهزة التنصت القائمة تسبب تخميذاً أقل من IdB ويمكن أن تحصل دون أن يتم الكشف عنها عادة من قبل أنظمة إدارة الشبكات، ومن الواضح أن مثل هذه الاكتشافات تتطلب نظام مراقبة نشط يعمل عبر الشبكة.

هناك طريقة أخرى ممكنة للوصول إلى القناة عن طريق مراقبة المنافذ، والتي عادة ما تكون موجودة في مكونات الشبكة المختلفة مثل المضخمات، مفكك التجميع، المبدل الانتقائي لطول الموجة. يتم عكس الإشارة الضوئية بواسطة مقسم ضوئي للسماح باتصال أجهزة المراقبة دون انقطاع حركة تدفق البيانات. من خلال الوصول إلى الموقع، يمكن للمهاجم استخدام هذه المنافذ للاستماع إلى حركة البيانات المنقولة [10].

4-8 النقر على الألياف الضوئية:

على عكس التصور الشائع فإن الألياف الضوئية ليست آمنة بطبيعتها من التنصت أو التنصت. الكم الهائل من المعلومات الحساسة والهامة والمرحلة عبر الألياف هذه الأيام معرضة للاختراق من قبل المتصت والتسمع بطرق مختلفة. إن التنصت على الألياف عبارة عن عملية يتم من خلالها تعريض أمن الألياف الضوئية للخطر إما باستخراج أو حقن المعلومات (كالضوء). في الأساس التنصت على الألياف يمكن أن يكون تدخلية

وغير تدخل. ويتطلب الأول قطع الألياف وإعادة توصيلها في آلية التنصت في حين يتحقق التنصت في النوع الثاني دون قطع الألياف أو التسبب في اضطراب الخدمة بصورة واضحة [11]. أوضحت الدراسات إن مجرد انحناء الألياف مع الحفاظ على سلامتها يكفي لتتبع تبادل المعلومات مع وجود فرصة ضئيلة أو معدومة للكشف عنها [12]، حيث تستطيع أجهزة التنصت بسهولة مراقبة الاتصالات من دون تغيير ملحوظ في الإشارة التي في طريقها إلى المتلقي. وقد تم الإبلاغ عن عدد قليل فقط من حوادث التنصت على الألياف لأنه من الصعب جدا الكشف عن الألياف المستغلة في حين أن عملية التنصت نفسها بسيطة جدا.

5- أنظمة ترميز المطال الطيفي Spectral Amplitude (SAC-OCDMA) Coding:

يسمح OCDMA لعدة مستخدمين بنقل البيانات في وقت واحد عبر قناة اتصال بالليف الضوئي من خلال تخصيص عرض المجال الترددي المتوفر لكل مرسل في وقت واحد، يتم تخصيص تسلسل شريحة فريد لكل مرسل يتم توليده بواسطة مولد شبه عشوائي أو محدد من قبل المستخدم. يتم تجميع الإشارات المرزمة من أجهزة الإرسال المختلفة وإرسالها عبر الألياف الضوئية إلى المستقبل علماً أنه يتم استخدام وحدة فك الترميز لفك ترميز إشارة البيانات المطلوبة باستخدام نفس تسلسل الشريحة المستخدم من قبل المرسل المطلوب [13].

من أجل تنفيذ شبكة اتصالات بتقنية ال OCDMA ، يلزم توفر طرق ترميز ذات أداء كافي. يتضمن الترميز ضرب بتات البيانات بتسلسل رمز إما في مجال الزمن أو في مجال الطول الموجي أو في مجال الفضاء الذي يشار إليه على أنه أحادي البعد. يمكن أيضاً استخدام مزيج من مجالي طول الموجة والفضاء ويشار إليه باسم ترميز ثنائي الأبعاد. يمكن أيضاً إجراء ترميز بثلاثة أبعاد وهو مجموعة من مجال الطول الموجي و الزمن و الفضاء أو مجال الطول الموجي و الزمن و الاستقطاب [14].

تعرف الرموز في هذه النوع من الترميز بالمحددات الآتية (λ_c, W, L, N) حيث N هو عدد المستخدمين ، L طول الرمز ، W وزن الرمز، و λ_c هي قيمة الترابط المتبادل بالطور IPCC. طول الرمز (L) هو إجمالي عدد الشرائح المستخدمة من قبل كل مستخدم. الوزن (W) يمثل عدد الشرائح التي لها قيمة 1. يتم تعريف IPCC بين رمزين على أنه [15]:

$$\lambda_c = \sum_{j=1}^L a_j \cdot d_j \quad (1)$$

لرموز اثنين من المستخدمين $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_l)$ و $D = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_l)$ ،
ذو طول (L) .

5-1 الرموز ذات الترابط المتبادل المعدوم ZCC codes:

يسمى الرمز بخاصية الترابط المتبادل المعدوم باسم Zero Cross-Correlation Code (ZCCC). لا يحتوي على أي تداخل في الأطوال الموجية بين أي مستخدمين. تم الإبلاغ عنه مع بناء الرمز ذو الوزن الثابت وأيضا مع الرمز متعدد الأقطار، ورمز الترابط المتبادل المعدوم المعدل بخاصية ZCC. يتم التخلص من MAI تمامًا باستخدام الرموز مع خاصية ZCC ولكن بمعدل طول رمز أطول يتطلب مصادر المجال العريض [15].

5-2 رمز الترابط المتبادل المعدوم ZCCC:

تتألف الرموز الضوئية من تسلسلات من الأصفار والواحدات ذات k مستخدم. نشير إلى القيمة العظمى للارتباط المتبادل بين رمزين ب λ_{max} و w وزن الرمز (عدد الواحدات في الرمز). مجموعة الرموز التي لها أقل ارتباط متبادل تدعم أكبر عدد من المستخدمين مع أصغر طول رمز وهذا يضمن جودة الخدمة المقدمة مع معدلات خطأ منخفضة لعدد محدد من المستخدمين. العقبة الرئيسية في التنفيذ الناجح لجميع الشبكات

الضوئية هي في الأساس MAI عندما يحاول جميع المستخدمين إرسال بياناتهم في وقت واحد. يمكن التغلب عليها عن طريق تصميم تسلسلات رموز تسبب أقل تداخل بين شرائح البيانات [16].

نأخذ تسلسلين مختلفين من الرموز: $A_i = \{A_0, A_1, A_2, \dots, A_N\}$ و $B_i = \{B_0, B_1, B_2, \dots, B_N\}$

وبالتالي يمكننا تعريف الترابط الذاتي auto correlation والترابط المتبادل cross correlation بالعلاقين التاليين على التوالي:

$$\lambda_a = \sum_{i=1}^N A_i \cdot A_{i+t} \quad (2)$$

λ_a

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N A_i \cdot B_{i+t} \quad (3)$$

يمكن تعريف رمز ZCC من خلال هذه البارامترات: (L, W, C) حيث L يعبر عن طول الرمز W يعبر عن وزن الرمز و C تعبر عن سعة النظام.

العلاقة بين طول الرمز (L) وعدد المستخدمين (K) ومرتبة المصفوفة (N) يعطى بالعلاقة التالية:

عدد المستخدمين = مرتبة المصفوفة

$$L = N^2 = K^2 \quad \text{وهذا يكافئ} \quad (\text{عدد المستخدمين})^2 = (\text{مرتبة المصفوفة})^2$$

الخطوة الأولى: إنشاء مصفوفة مربعة A_N ، حيث تم اقتراح $(N=4)$ ينتج لدينا المصفوفة التالية:

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

الخطوة الثانية: تُطبق خاصية إزاحة الصفوف ول N-1 مرة ينتج لدينا الآتي:

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A'_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A''_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A'''_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

الخطوة الثالثة: تُكتب المصفوفة A_4 بالشكل التالي:

$$A_4 = \begin{bmatrix} r_1(A_4) \\ r_2(A_4) \\ r_3(A_4) \\ r_4(A_4) \end{bmatrix}$$

حيث $r_1(A_4)$, $r_2(A_4)$, $r_3(A_4)$, $r_4(A_4)$ تمثل السطر الأول والثاني والثالث والرابع في المصفوفة A_4 على التوالي وبالتالي يمكننا كتابة المصفوفات A'_4, A''_4, A'''_4 بالشكل الآتي:

$$A'_4 = \begin{bmatrix} r_1(A'_4) \\ r_2(A'_4) \\ r_3(A'_4) \\ r_4(A'_4) \end{bmatrix}, \quad A''_4 = \begin{bmatrix} r_1(A''_4) \\ r_2(A''_4) \\ r_3(A''_4) \\ r_4(A''_4) \end{bmatrix}, \quad A'''_4 = \begin{bmatrix} r_1(A'''_4) \\ r_2(A'''_4) \\ r_3(A'''_4) \\ r_4(A'''_4) \end{bmatrix}$$

الخطوة الرابعة: يُعاد تشكيل المصفوفات السابقة لمصفوفة ذات سطر واحد فينتج لدينا:

$$A_4 = [r_1(A_4) \ , \ r_2(A_4) \ , \ r_3(A_4) \ , \ r_4(A_4)]$$

$$A'_4 = [r_1(A'_4) \ , \ r_2(A'_4) \ , \ r_3(A'_4) \ , \ r_4(A'_4)]$$

$$A''_4 = [r_1(A''_4) \ , \ r_2(A''_4) \ , \ r_3(A''_4) \ , \ r_4(A''_4)]$$

$$A'''_4 = [r_1(A'''_4) \ , \ r_2(A'''_4) \ , \ r_3(A'''_4) \ , \ r_4(A'''_4)]$$

ينتج لدينا :

$$A_4 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$A'_4 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$A''_4 = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]$$

$$A'''_4 =$$

$$[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$$

الخطوة الخامسة: أخيرا من خلال الجمع بين هذه المصفوفات المعاد تشكيلها سنحصل على رمز ZCC الجديد:

$$ZCC = \begin{bmatrix} A_4 \\ A'_4 \\ A''_4 \\ A'''_4 \end{bmatrix}$$

ZCCC=

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Codewords 

User1 = lambda₁, lambda₆, lambda₁₁, lambda₁₆

User2 = lambda₂, lambda₇, lambda₁₂, lambda₁₃

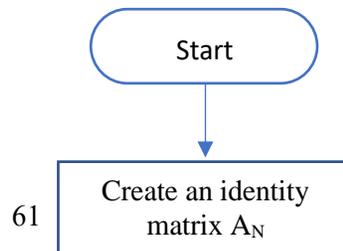
User3 = lambda₃, lambda₈, lambda₉, lambda₁₄

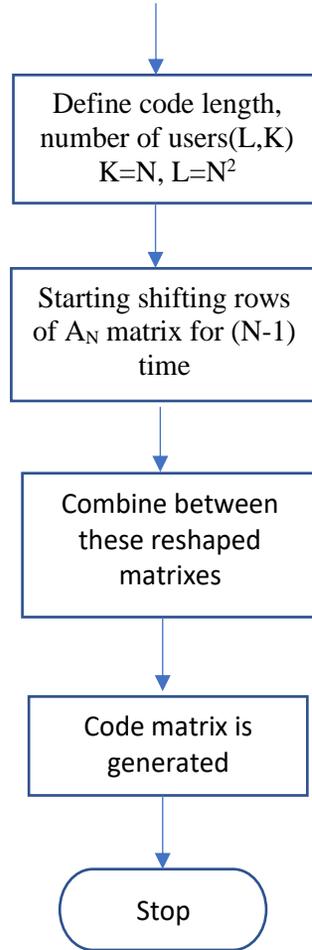
User4 = lambda₄, lambda₅, lambda₁₀, lambda₁₅

نلاحظ أنه من أجل 4 مستخدمين، قد حقق طول الرمز العلاقة السابقة $L=K^2=16$

[17]. وفقا للعلاقتين (1) و(2) وخصائص الرمز الناتج يتحقق لدينا: $\lambda_c = 0$.

يوضح الشكل (4) المخطط الصندوقي للخوارزمية المتبعة لتوليد الرمز المبين في الخطوات السابقة.





الشكل(4) المخطط الصندوقي لخوارزمية توليد الرمز

6- التطبيق العملي:

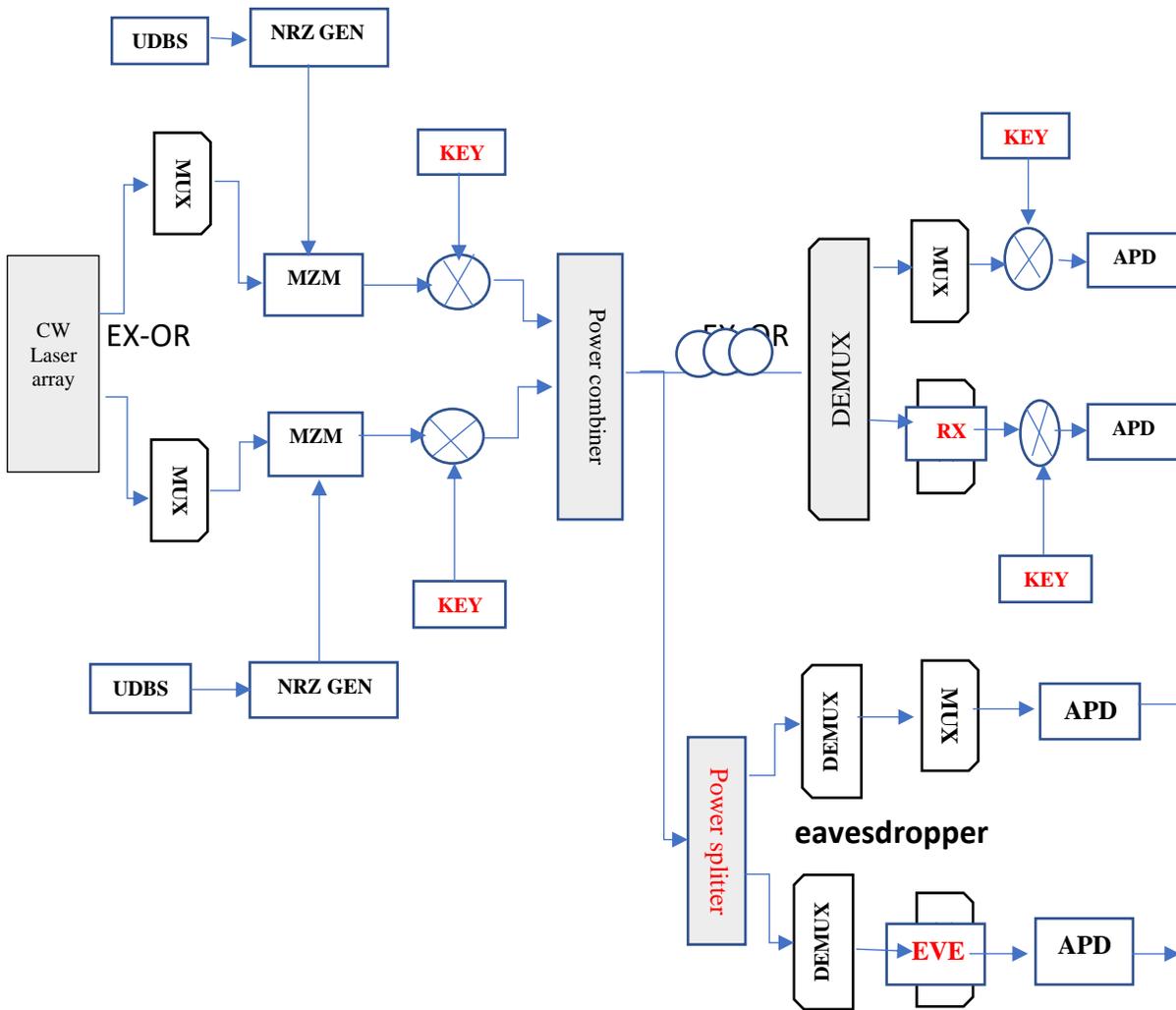
6-1 تصميم شبكة OCDMA:

تم باستخدام المحاكاة الحاسوبية ضمن البرنامج الهندسي Optisystem ذو الإصدار 17 بناء شبكة OCDMA مكونة من 4 مستخدمين و16 طول موجي، يستخدم WDM mux لتوليد الرمز الخاص بكل مستخدم، يتم تخصيص 4 أطوال موجية لكل مستخدم

بناءً على رمز ZCC الوارد في الفقرة السابقة. يظهر الشكل (5) المخطط العام لشبكة OCDMA، ويظهر الشكل (6) المخطط التفصيلي لشبكة OCDMA. يتألف المخطط العام للنظام المقترح من ثلاثة أقسام، قسم المرسل وقسم المستقبل وقسم المتتصت، نلاحظ من المخطط كيف حاول المتتصت سرقة الإشارة من خلال النقر على الليف بعد قطع مسافة 50km .

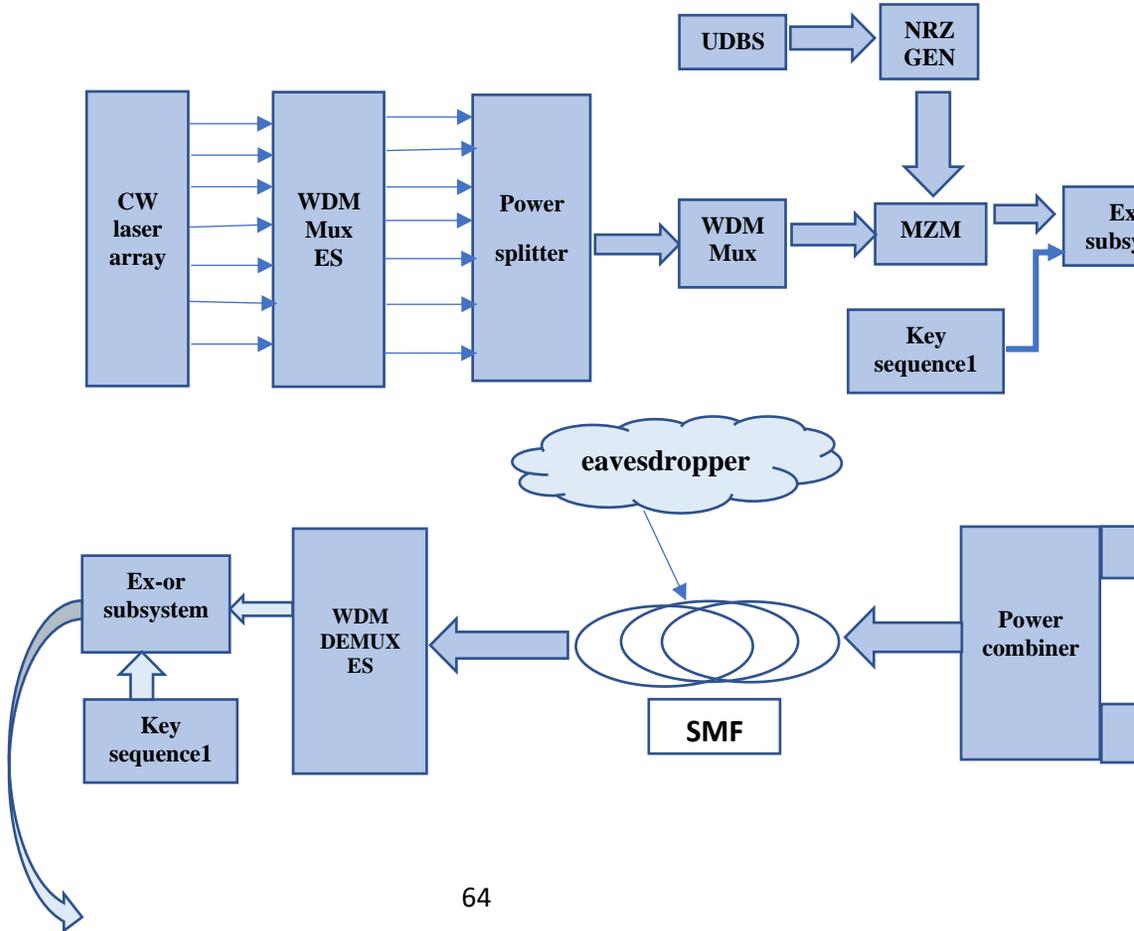
Transmitter side

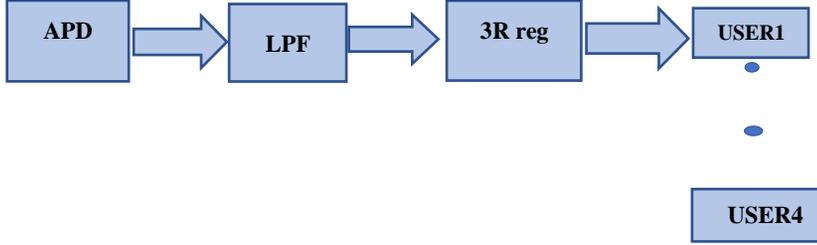
Receiver side



الشكل (5) المخطط الصندوقي العام للنظام المقترح

يوضح الشكل (6) المخطط التفصيلي للنظام المقترح، يستخدم هذا المخطط مولد بتات محدد UDBS لتوليد إشارة المستخدم التي يتم تعديلها بمعدل ماك-زيندر، بعد ذلك يتم استخدام بوابة EX-OR الضوئية لتشفير بيانات كل مستخدم بمفتاح تشفير مختلف بعد ترميزها باستخدام مرمز WDM ثم تجمع إشارات المستخدمين الأربع لترسل عبر ليف ضوئي وحيد النمط بتخامد 0.1dB/km لمسافة 100km لا تتطلب تضخيم والاكتفاء بطاقة الإشارة المولدة من المنبع الليزري CW laser array.

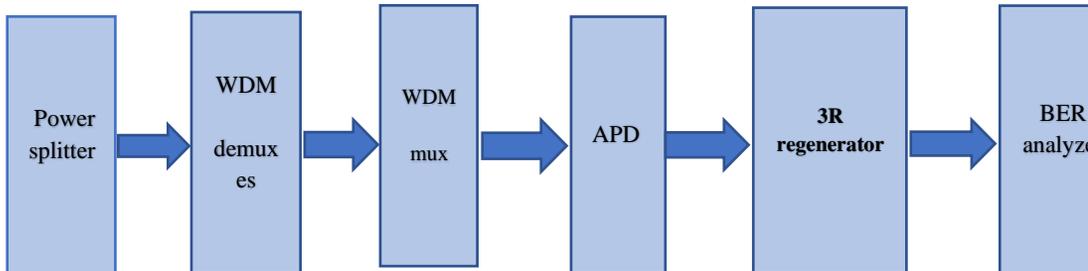




الشكل (6) المخطط التفصيلي لشبكة OCDMA

المدرسة

في نهاية الليف يتم تفكيك الإشارة الضوئية الواردة باستخدام WDM DEMUX ES إلى أربع إشارات ليتم فك تشفيرها باستخدام بوابة EX-OR الضوئية وباستخدام نفس المفتاح الذي شفرت به ومن ثم عن طريق كاشف الضوء APD يتم تحويل الإشارة الضوئية إلى كهربائية ويتم ترشيحها باستخدام مرشح LPF ومن ثم يتم توليد تسلسل بتات البيانات الأصلية الخاصة بكل مستخدم من خلال 3R regenerator، لنحصل بعد ذلك على إشارة المستخدم في جهة الاستقبال. يوضح الشكل (7) البنية العامة للمتتصت، تتألف هذه البنية أولاً من مقسم ضوئي الذي يسمح بتوفير مسار لإشارة المتتصت إلى الليف الضوئي، ومن ثم يتم تحليل الإشارة التي حصل عليها المتتصت إلى أربع إشارات باستخدام WDM DEMUX ES، يستخدم WDM MUX لإعادة توليد الرمز الخاص بكل مستخدم ومن ثم يتم تحويل الإشارة الضوئية إلى كهربائية وإعادة توليد بتات البيانات الأصلية من خلال 3R regenerator، ليتم أخيراً تحليلها باستخدام BER analyzer.



الشكل (7) المخطط العام لبنية المتنصت

يظهر الجدول (1) العناصر المميزة لشبكة OCDMA ويبين الجدول (2) الأطوال الموجية وفقاً لنمط الترميز ZCC حيث $k=4$.

الجدول (1) البارامترات الأساسية المميزة لشبكة OCDMA

القيمة	حاكاة	القيمة	بارامترات المحاكاة
100 km	طول الليف الضوئي	10 Gb/s	معدل البيانات
0.1 dB/km	فقدان التوهين	128 bits	طول السلسلة
16.75 Ps/nm/km	تشتت الليف	0.8 nm	المسافة الترددية
NRZ	ترميز النبضة	1550 nm	طول الموجة المرجعي
16	عدد الأطوال الموجية	0 dB _m	طاقة المنبع الليزري
		4	عدد المستخدمين
		ZCCC	نمط الترميز

يوضح الجدول (2) الأطوال الموجية الخاصة بكل مستخدم وفقاً لنمط الترميز ZCCC.

الجدول (2) الأطوال الموجية وفقاً لنمط الترميز ZCC حيث $k=4$

USER1	1550,1554,1558,1562nm
USER2	1550.8,1554.8,1558.8,1559nm
USER3	1551.6,1555.6,1556.4,1560.4nm
USER4	1552.4,1553.2,1557.2,1561.2nm

يوضّح الجدول (3) بيانات كل مستخدم بالإضافة إلى مفتاح التشفير.

الجدول (3) بيانات كل مستخدم ومفتاح التشفير

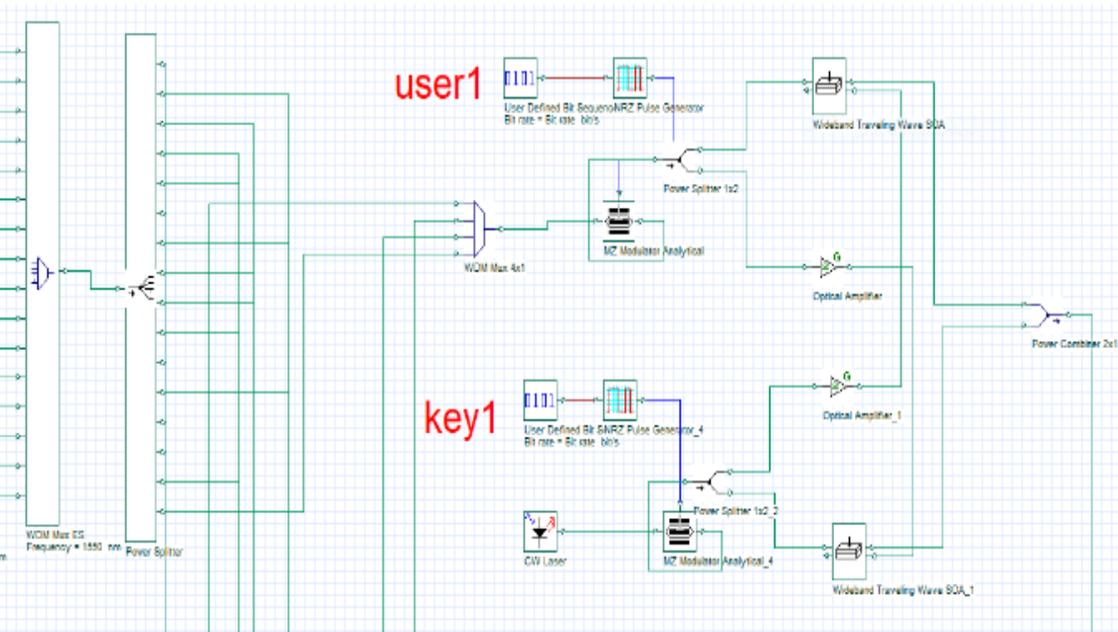
D1	100100111000	Key1	010010010110
D2	010110011011	Key2	110001110000
D3	101011100101	Key3	110011001110
D4	001001100111	Key4	110001011101

يفسر الجدول السابق بيانات كل مستخدم التي يتم توليدها باستخدام مولد بتات محدد من قبل المستخدم ومن ثم

يتم ترميزها باستخدام رمز ZCC بالإضافة إلى مفتاح التشفير الذي يستخدم لتشفير بيانات كل مستخدم على حدى.

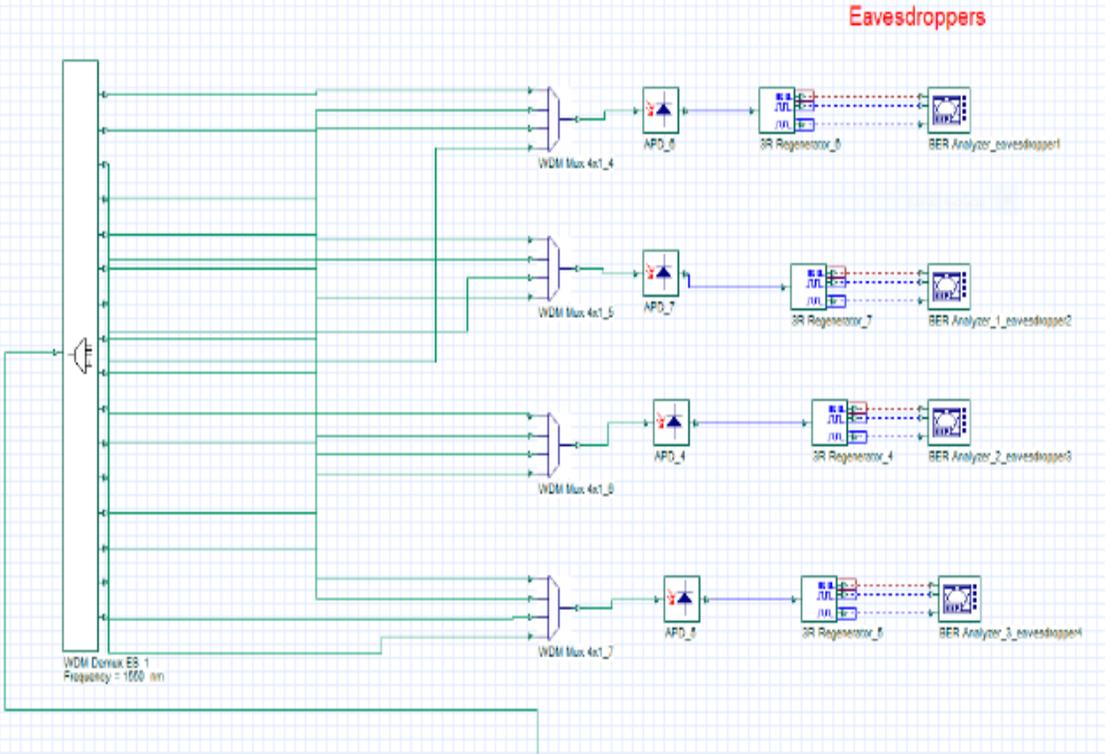
وفقا لمخطط الشبكة ولمميزات العناصر التي وردت سابقا تم بناء الشبكة باستخدام برنامج Optisystem17.

يبين الشكل (8) بنية مرسل واحد فقط باستخدام نمط الترميز ZCC، كذلك يوضح الشكل (9) قسم المتتصت.



الشكل (8) بنية مرسل واحد فقط باستخدام نمط الترميز

(ZCC,K=4)

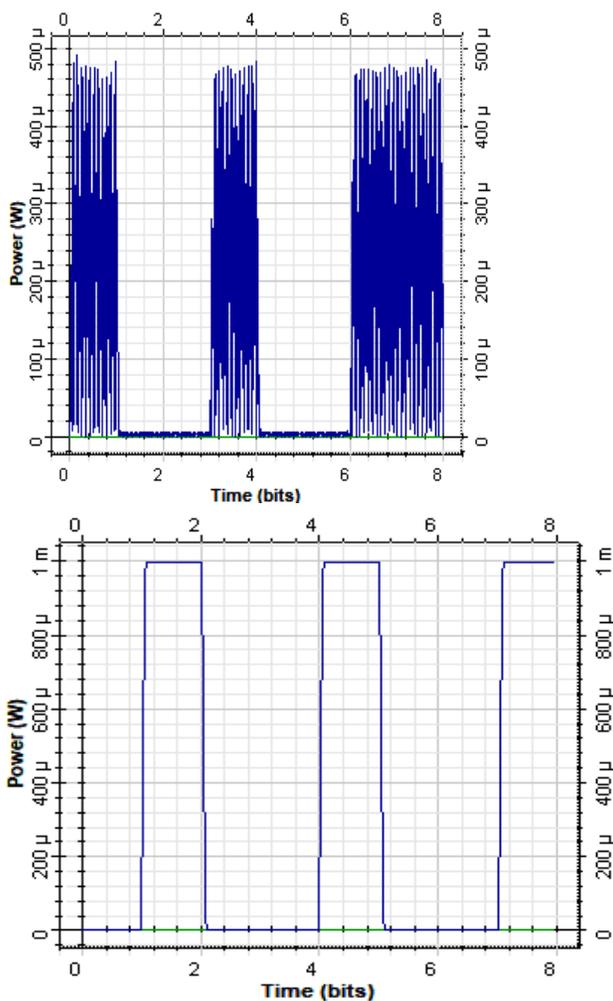


الشكل (9) بنية المتنصت

7- النتائج والمناقشة:

بعد تحديد مميزات شبكة OCDMA، تمت المحاكاة العملية وإظهار النتائج ومقارنتها، عملية المقارنة أُجريت اعتماداً على المحددات الأساسية من مخطط العين Eye Diagram وعامل الجودة Q Factor والأهم معدل خطأ البت BER.

بعد إجراء المحاكاة، تمّ استخلاص النتائج ومناقشتها على ثلاث أطوال للوصلات الضوئية المدروسة ابتداءً من مسافة 60km حتى مسافة 100km، تجدر الإشارة إلى أن القيم (BER=10⁻⁸، Q Factor=6) تعد قيم الحد الأدنى المقبولة في أنظمة الشبكات الضوئية. يبين الشكل (10) بيانات كل مستخدم بعد عملية الترميز، ويبين الشكل (11) مفتاح التشفير الخاص بكل مستخدم،

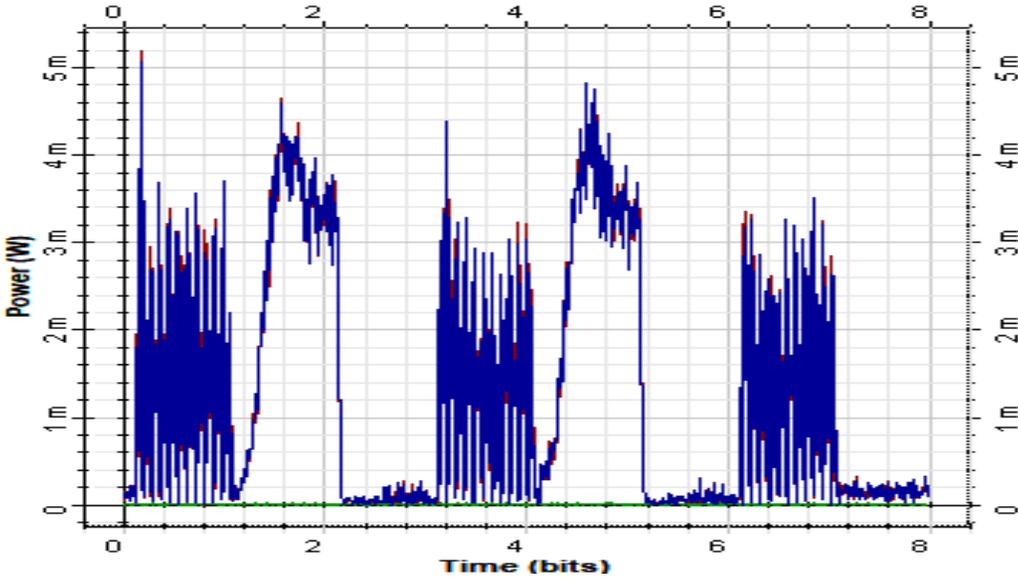


الشكل (11)

الشكل (10) إشارة بيانات المستخدم بعد الترميز

مفتاح التشفير

وتظهر نتيجة بوابة EX-OR في الشكل (12).



الشكل (12) EX-OR لإشارة المستخدم ومفتاح

التشفير

نلاحظ من الشكل (12) نتيجة تصميم بوابة EX-OR والتي تعطي قيمة مساوية للصفر عند تماثل المدخلين، وتعطي قيمة الواحد عند عدم تماثلهما.

يبين الجدول (4) معدل خطأ البت لكل مستخدم من المستخدمين الأربعة قبل عملية التنصت وبعدها، ونلاحظ زيادة معدل الخطأ في البت مع انخفاض عامل الجودة بعد محاولة التنصت عن قيمتها قبل عملية التنصت .

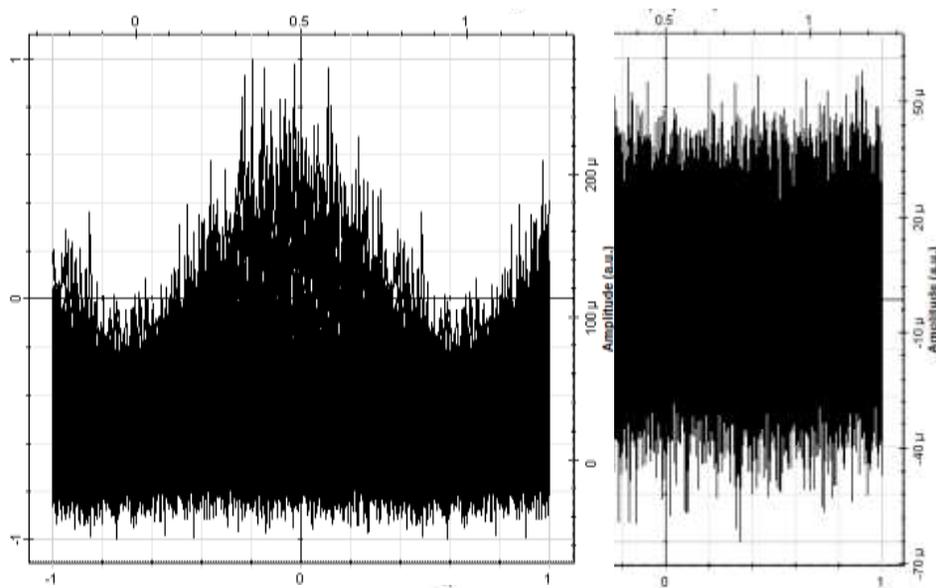
الجدول (4) معدل الخطأ في البت وعامل الجودة لكل مستخدم قبل التنصت وبعده

بعد التنصت		قبل التنصت		
BER	Q-factor	BER	Q-factor	
10^{-24}	9.9	10^{-73}	17.9	المستخدم الأول
10^{-15}	7.7	10^{-27}	10.5	المستخدم

				الثاني
10^{-11}	6.5	10^{-19}	8.8	المستخدم الثالث
10^{-12}	6.8	10^{-31}	11.4	المستخدم الرابع

يفسر الجدول (4) محاولة المتتصت سرقة الإشارة من خلال النقر على الليف وذلك بسبب تغير جودة الإشارة بعد التتصت عن قيمتها قبله، حيث ازداد معدل خطأ البت وانخفض عامل الجودة .

يظهر الشكل (13) نماذج من أشكال العين للمتتصتين، وقد تمّ الاقتصار على نماذج محددة نتيجة الحصول على النتيجة ذاتها.



الشكل (13) نماذج من أشكال العين للمتتصتين

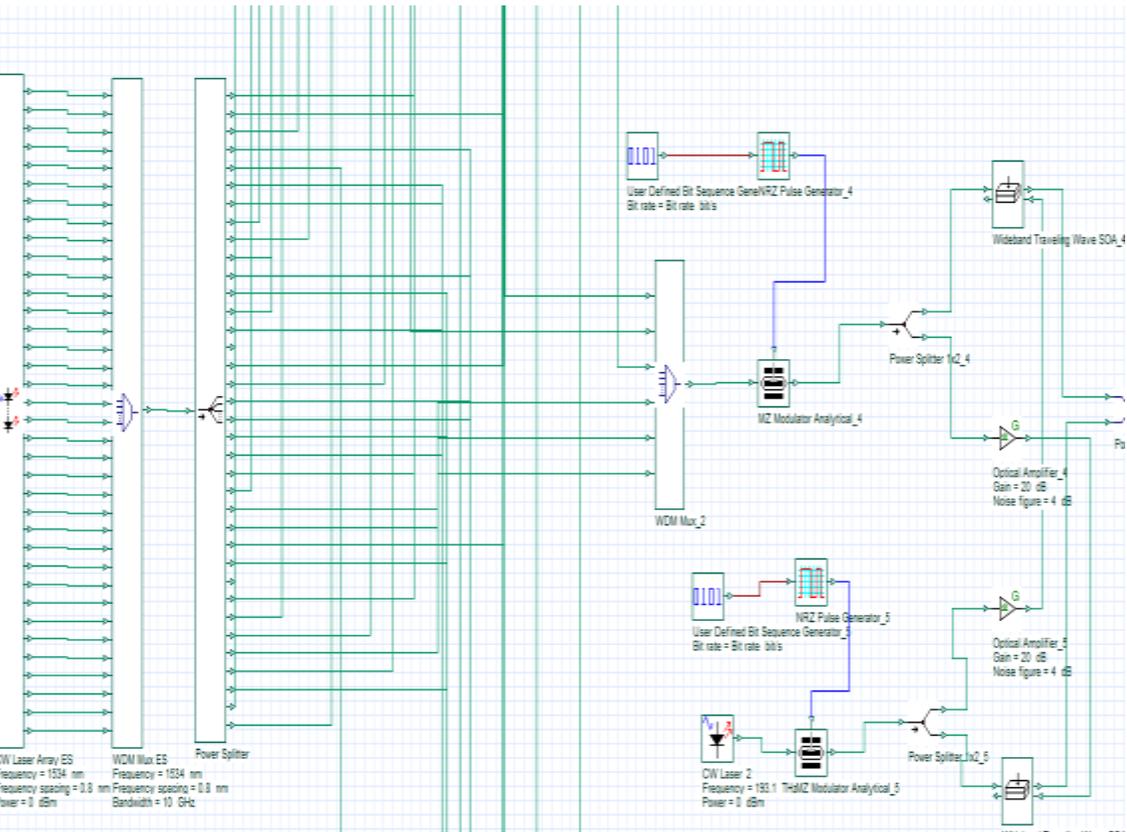
يبين الشكل (13) محاولة المتصت في سرقة الإشارة قد باءت بالفشل لعدم إدراكه لوجود بوابة ex-or حيث حصلنا على (BER=1,Q-Factor=0).

بعد محاكاة الشبكة بالنسبة لأربع مستخدمين باستخدام ترميز ZCC تم دراسة أثر زيادة عدد المستخدمين على نمط الترميز المستخدم. مع زيادة عدد المستخدمين إلى 6 مستخدمين، يخصص لكل مستخدم 6 أطوال موجية يوضح الجدول (5) الأطوال الموجية المخصصة لكل مستخدم.

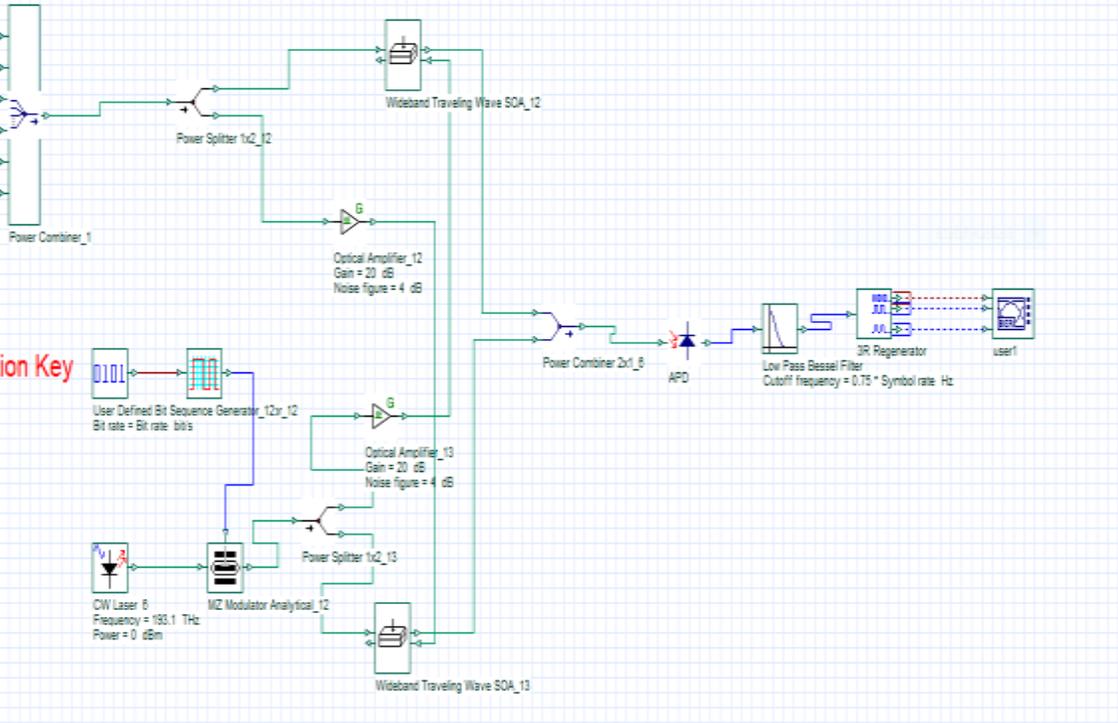
الجدول (5) الأطوال الموجية وفقاً لنمط الترميز ZCC حيث k=6

User1	$\lambda_1, \lambda_8, \lambda_{15},$ $\lambda_{22}, \lambda_{29},$ λ_{36}	1534,1539.6,1545.2,1550.8,1556.4,1562
User2	$\lambda_2, \lambda_9, \lambda_{16},$ $\lambda_{23}, \lambda_{30},$ λ_{31}	1534.8,1540.4,1546,1551.6,1557.2,1558
User3	$\lambda_3, \lambda_{10}, \lambda_{17},$ $\lambda_{24}, \lambda_{25},$ λ_{32}	1535.6,1541.2,1546.8,1552.4,1553.2,1558.8
User4	$\lambda_4, \lambda_{11}, \lambda_{18},$ $\lambda_{19}, \lambda_{26},$ λ_{33}	1536.4,1542,1547.6,1548.4,1554,1559.6
User5	$\lambda_5, \lambda_{12}, \lambda_{13},$ $\lambda_{20}, \lambda_{27}, \lambda_{34}$	1537.2,1542.8,1543.6,1549.2,1554.8,1560.4
User6	$\lambda_6, \lambda_7, \lambda_{14},$ $\lambda_{21}, \lambda_{28},$ λ_{35}	1538,1538.8,1544.4,1550,1555.6,1561.2

يوضح الشكل (14) والشكل (15) بنية مرسل واحد ومستقبل واحد على التوالي باستخدام نمط الترميز (ZCC,K=6).



الشكل (14) بنية المرسل باستخدام (ZCCC, K=6)



الشكل (15) بنية المستقبل باستخدام (ZCCC, K=6)

ثم قمنا بزيادة عدد المستخدمين إلى 6 مستخدمين وتمت المحاكاة على عدة أطوال للألياف الضوئية. يبين الجدول (6) معدل خطأ البت وعامل الجودة للمستخدمين الستة باستخدام ZCC على ثلاث مسافات 100km، 80km، 60km

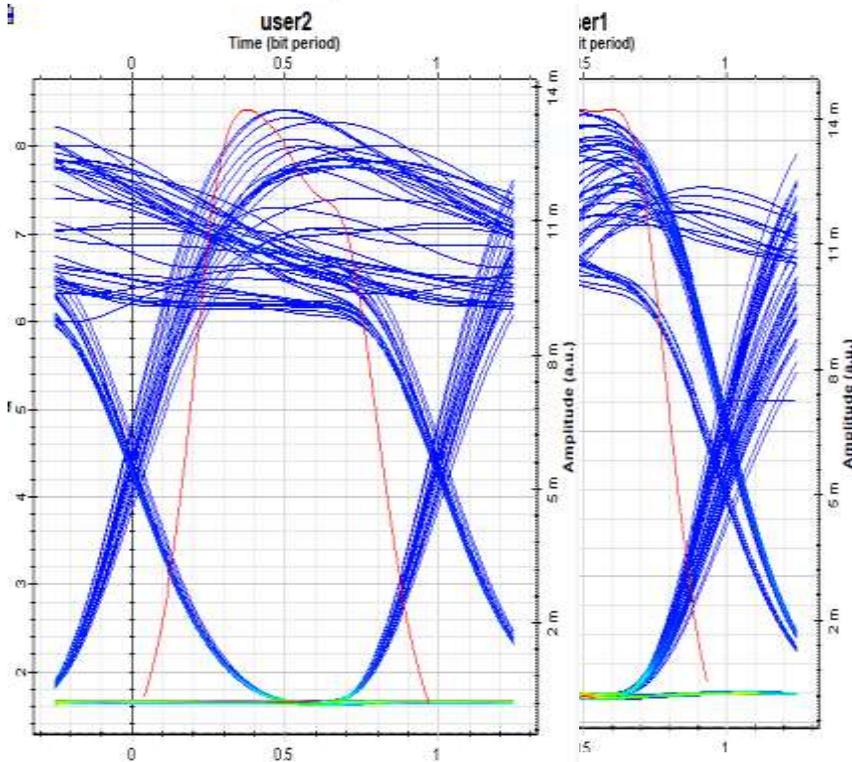
الجدول (6) معدل الخطأ في البت وعامل الجودة باستخدام ZCCC

Q-factor			BER			
100Km	80km	60km	100Km	80km	60km	
8.8	9	9.4	10^{-19}	10^{-20}	10^{-22}	User1
7.1	7.3	8.4	10^{-13}	10^{-14}	10^{-17}	User2
6.1	6.7	7.5	10^{-10}	10^{-12}	10^{-14}	User3

5.8	6	6.4	10^{-9}	10^{-9}	10^{-11}	User4
5.9	5.9	6	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}	User5
9.5	9.7	14.1	10^{-22}	10^{-23}	10^{-33}	User6

بالمقارنة بين النتائج السابقة نلاحظ أنه عند المسافات الثلاثة لم نحقق أي نتيجة أقل من الحد المقبول بالنسبة لمعدل خطأ البت، ويقل مع زيادة مسافة الإرسال وتحقق مسافة 60km النتيجة الأفضل وبالتالي تكون ذو إمكانية أكبر لزيادة عدد المستخدمين كذلك الأمر بالنسبة لعامل الجودة.

يبين الشكل (16) نماذج من أشكال العين على مسافة 60km باستخدام رمز ZCC.



الشكل (16) نماذج من أشكال العين باستخدام ZCCC على مسافة

60km

نلاحظ من المخططات السابقة اتساع فتحة العين وقلة عدد التداخلات للمستخدم الأول والثاني وهذا يتناسب مع ازدياد عامل الجودة وانخفاض معدل خطأ البت وكذلك الأمر بالنسبة لباقي المستخدمين.

8- مقارنة النتائج مع الدراسات السابقة:

بهدف تقييم نتائج هذه الدراسة، تمت مقارنة نتائج نظام OCDMA المصمم في هذا البحث بنتائج الأبحاث السابقة كما هو موضح في الجدول (7) .

الجدول (7) مقارنة بين الأبحاث المنشورة

Min. BER	مسافة الإرسال	معدل الإرسال	عدد المستخدمين	الطريقة المقترحة	دار النشر	اسم الباحث وسنة النشر	
10^{-25}	100km	1Gbit/sec	2	Ex-OR subsystem & MDC	Research-gate	Sharma& Kummar 2020	البحث [18]
10^{-15}	70km	1.25Gb/sec	4	CMUX& CDEMUX	AJSE	Chowdhury Uddin2019	البحث [8]
10^{-13}	-10)km (50	-1.25)Gb/s (10	22	Encryption circuit+2D encoding	springer	Urmila bharji2022	البحث [19]
10^{-22}	100km	10Gb/s	6	EX-OR Optical Gate & ZCCC	-	-	الدراسة الحالية

9- الاستنتاجات والتوصيات

تمّ في هذا البحث اقتراح آليات مختلفة لحماية معلومات المستخدمين من التنصت أثناء الإرسال عبر شبكة OCDMA وذلك بسبب الأهمية الكبيرة لهذه الشبكة حيث يعتبر النفاذ المتعدد بتقسيم الرمز الضوئي التطبيق الأفضل لشبكات الوصول إلى المنازل وغيرها من التطبيقات. فكان للبحث مخرجات ونتائج يمكن تلخيصها بالنقاط التالية:

- تمت حماية البيانات بشكل تام من السرقة أو الاختراق من قبل متنصتين .
- تم تحقيق أقصى معدل إرسال قدره 10 Giga bits/sec مع طول ليف 100km فكانت أقل قيمة لمعدل خطأ البت هو 10^{-22} .
- تم تحقيق معدل إرسال قدره 10Giga bits/sec بالنسبة ل 6 مستخدمين.

نعمل في المستقبل على زيادة أبعاد الرموز المستخدمة ومقارنة النتائج مع الرموز المستخدمة في هذا البحث.

المراجع

- [1] Shukra, Mohamed Mansour, Arvind Kumar Jaiswal, and Mukesh Kumar. "Security Based Performance Analysis in Optical CDMA Network Systems." IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE) 8.6 (2013): 70-74.
- [2] Kaur, Gurjeet, and Simranjit Singh. "Review on Optical Code Division Multiple Access Systems." International Journal of Engineering Sciences 17 (2016).
- [3] Fouli, Kerim, and Martin Maier. "Ocdma and optical coding: Principles, applications, and challenges [topics in optical

communications]." IEEE Communications Magazine 45.8 (2007): 27-34.

[4] Bharti, Manisha, Ajay k Sharma, and Manoj Kumar. "Simulative analysis of 2-code keying approach using Walsh Hadamard codes to enhance security and reduce dispersion in OCDMA system." 2014 International Conference on Data Mining and Intelligent Computing (ICDMIC). IEEE, 2014

[5] Mrabet, Hichem, et al. "A comparative study of asynchronous and synchronous OCDMA systems." IEEE Systems Journal (2020).

[6] Hooshang, G., & M, M.K." Optical CDMA Networks: Principles, Analysis and Application". Wiley-IEEE Press.(2012).

[7] Dahan, David, and Uri Mahlab. "Security threats and protection procedures for optical networks." IET Optoelectronics 11.5 (2017): 186-200.

[8] Chowdhury, T., & Uddin, M. N. (2019). OCDMA System Using Two Code Keying Encryption Introducing a SOA Based CMUX And CDEMUX Over a WDM System. AIUB Journal of Science and Engineering (AJSE), 18(1), 11-17.

[9] Bhanja, Urmila, and Sutikshna Singhdeo. "Novel encryption technique for security enhancement in optical code division multiple access." Photonic Network Communications 39.3 (2020): 195-222.

[10] Furdek, Marija, et al. "Vulnerabilities and security issues in optical networks." 2014 16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). IEEE, 2014.

[11] Iqbal, M. Zafar, Habib Fathallah, and Nezh Belhadj. . "Optical fiber tapping: Methods and precautions." 8th International

Conference on High-capacity Optical Networks and Emerging Technologies. IEEE, 2011.

[12] Everett, Bernard. "Tapping into fibre optic cables." *Network Security* 2007.5 (2007): 13-16.

[13] Abraham, Nelsa, and Ankit Parakh. "Various architecture for detection of information using SAC-OCDMA for FTTH system." 2016 International Conference on Next Generation Intelligent Systems (ICNGIS). IEEE, 2016.

[14] Rajesh Yadav, Dr. Gurjit Kaur. "Optical CDMA: Technique, Parameters and Applications." *Proc. of Int. Conf. on Emerging Trends in Engineering and Technology*, 2013.

[15] Kumawat, Soma, and M. Ravi Kumar. "A review on code families for sac-ocdma systems." *Optical and Wireless Technologies*. Springer, Singapore, 2020. 307-315.

[16] Rashid, C. B. M., et al. "New design of flexible cross correlation (FCC) code for SAC-OCDMA system." *Procedia Engineering* 53 (2013): 420-427.

[17] Alayedi, M., et al. "Performance improvement of multi access OCDMA system based on a new zero cross correlation code." *IOP Conference Series : Material Science and Engineering*. VOL. 767. NO. 1. IOP Publishing, 2020.

[18] Sharma, T., & Kumar, M. R. "Novel Security Enhancement Technique for OCDMA and SAC OCDMA Against Eavesdropping Using Multi-diagonal Code and Gating Scheme". In *Optical and Wireless Technologies* (pp. 477-486). Springer, Singapore, 2020.

[19] Bhanja, U. "Design and Performance Analysis of an Encrypted Two-Dimensional Coding Technique for Optical

CDMA". In Optical and Wireless Technologies (pp. [573-583](#)).
Springer, Singapore, 2022.

الكشف عن عيوب القماش باستخدام معالجة الصورة

د. عمار علي زقزوق

أستاذ في قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

ملخص البحث

مجال المنسوجات واحد من الأعمال التجارية الكبرى في جميع أنحاء العالم. يرتبط سعر المنتج والقدرة التنافسية له ارتباطاً مباشراً بجودة المنتج. فقط المنتجات ذات الجودة الجيدة يمكنها البقاء في المنافسة الشرسة في السوق. لكن عيوب النسيج تعد أهم نقاط ضعف هذا المجال، فهي تؤدي إلى رداءة جودة المنتج، وكما تؤثر أيضاً على النمو الاقتصادي للصناعة. يعتبر فحص النسيج أمراً مهماً للغاية، ولكن الأساليب القديمة المستخدمة لاكتشاف الأخطاء مثل الفحص البصري البشري مرهقة وتستغرق وقتاً طويلاً. لذا، لتقليل الوقت والضغط وزيادة الإنتاجية، فقد تم في هذه الدراسة اقتراح استخدام آلية للكشف عن هذه العيوب. يتكون برنامج النظام من خوارزمية الكشف عن العيوب، والتصنيف تم تطبيقه عبر واجهة مستخدم تم إعدادها باستخدام برنامج MATLAB. يعتمد نهج تصنيف العيب على مصفوفة التواجد ذات المستوى الرمادي (Gray Level Co-occurrence Matrix: GLCM)، وأما التصنيف فيتم باستخدام شبكة عصبونية تلافيفية (Convolution Neural Network). تم تدريب الشبكة واختبارها على 300 صورة مأخوذة من قاعدة البيانات CALTECH_101، وذلك لاكتشاف نوعين شائعين من أخطاء النسيج وهما: HOLE و LINE، وأظهرت النتائج أنه تم تصنيف العيوب بمعدل دقة (0.83%).

كلمات مفتاحية: معالجة الصور - اكتشاف عيوب القماش - الشبكات العصبونية التلافيفية.

Fabric Fault Detection using Image Processing

Dr. Ammar Ali Zakzouk

Professor in Automatic Control and Computers Engineering Department
Mechanical and Electrical Engineering Faculty
Albaath University

Abstract

The field of textiles is one of the major business all over the world. The price of the product and its competitiveness is directly related to the quality of the product. Only good quality products can survive the fierce competition in the market. But fabric defects are the most important weaknesses in this field, as they lead to poor product quality and also affect the economic growth of the industry. Tissue examination is very important, but the old methods used to detect errors such as human visual inspection are cumbersome and time-consuming, so to reduce time and pressure and increase productivity, it was proposed in this study to use an automatic mechanism to detect these defects. It is implemented via a user interface prepared using MATLAB software. The defect classification approach is based on the Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) and the classification is done using a convolutional neural network. The network was trained and tested on 300 images taken from the database CALTECH_101 in order to discover two common types of texture errors: HOLE and LINE. The results showed that the defects were classified with an accuracy rate of (0.83%).

Key-words: Images Processing – Fabric Fault Detection – Convolution Neural Networks.

1- مقدمة:

في صناعة النسيج، كان تحديد نمط النسيج يدوياً يتطلب جهوداً بشرية كبيرة. استغرقت هذه العملية الصعبة وقتاً طويلاً لم يكن مفيداً للصناعة. هذا هو السبب في أنه من المستحسن للغاية تطوير نظام التعرف التلقائي لأنماط النسيج. أثبتت معالجة الصور أنها طريقة فعالة لتحليل هياكل النسيج، وتمت دراسة التعرف إلى أنماط بنية القماش (النسيج) عن طريق تحليل الصور منذ منتصف الثمانينيات.

2- التعرف إلى الأنماط:

التعرف إلى الأنماط (Pattern Recognition: PR) يتعلق بوصف أو تصنيف (التعرف) القيم المدخلة، وهو ليس تقنية واحدة، بل هو عبارة عن مجموعة واسعة من المعارف والتقنيات. يعتمد التعرف إلى الأنماط بشكل طبيعي على الأنماط، ويمكن أن يكون النمط أساسياً كمجموعة من القياسات. المفتاح في العديد من تطبيقات التعرف إلى الأنماط هو تحديد السمات (الميزات)¹ المناسبة وتشكيل مقياس جيد للتشابه وعملية المطابقة المرتبطة بها، وذلك بالاعتماد على الميزات المستخرجة من النمط المدخل من الأمثلة على الميزات منخفضة المستوى شدة الإشارة، وقد تكون الميزات رمزية أو رقمية أو كليهما، ومثال على السمة الرمزية هو اللون؛ مثال على السمة العددية الوزن. من الناحية التاريخية، فإن النهجين الرئيسيين للتعرف إلى الأنماط هما الأسلوب الإحصائي (أو نظرية القرار)، والمشار إليه فيما بعد بـ StatPR، والنحوي (أو البنوي)، ويشار إليهما فيما بعد بـ SyntPR. والطريقة المستخدمة في هذه الدراسة هي الطريقة الإحصائية وهي خوارزمية (GLCM).

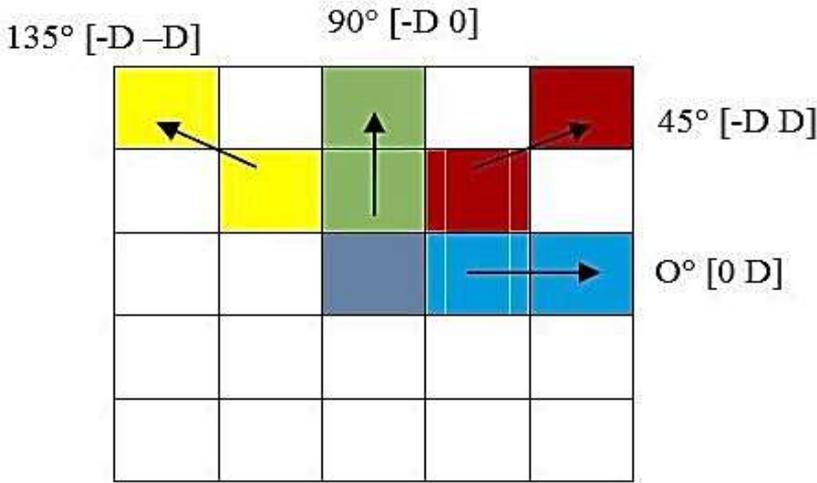
3- استخراج الميزات باستخدام خوارزمية GLCM:

يعتمد استخراج الميزة على الخصائص المحددة لوحدات البيكسل في الصورة. لإدارة تصنيف الأقمشة المنسوجة، اخترنا طريقة تعتمد على نهج إحصائي، وهي خوارزمية (GLCM). هي مصفوفة مربعة بحجم $L * L$ ، حيث L هو رقم المستوى الرمادي في

¹ الميزات هي أي قياس مستخرج مستخدم.

الصورة الأصلية. هناك عاملان يؤثران في حساب مصفوفة التواجد (GLCM) هما D وهي المسافة بين وحدتي بكسل، و θ زاوية الموضع بين وحدتي بكسل (q, p) و (i, j)، تحوي هذه المصفوفة على القيمة الاحتمالية لورود وحدتي بكسل بكثافة i, j على التوالي، يفصل بينهما المسافة d والاتجاه θ . وبالتالي، يمكن كتابة قيمة الاحتمال كـ $P(i, j, d, \theta)$. يمكن اختيار المسافة d من 1 إلى 8، ويمكن أن يكون الاتجاه أيّاً من 0، 45، 90، 135، 180، 225، 270، 315.

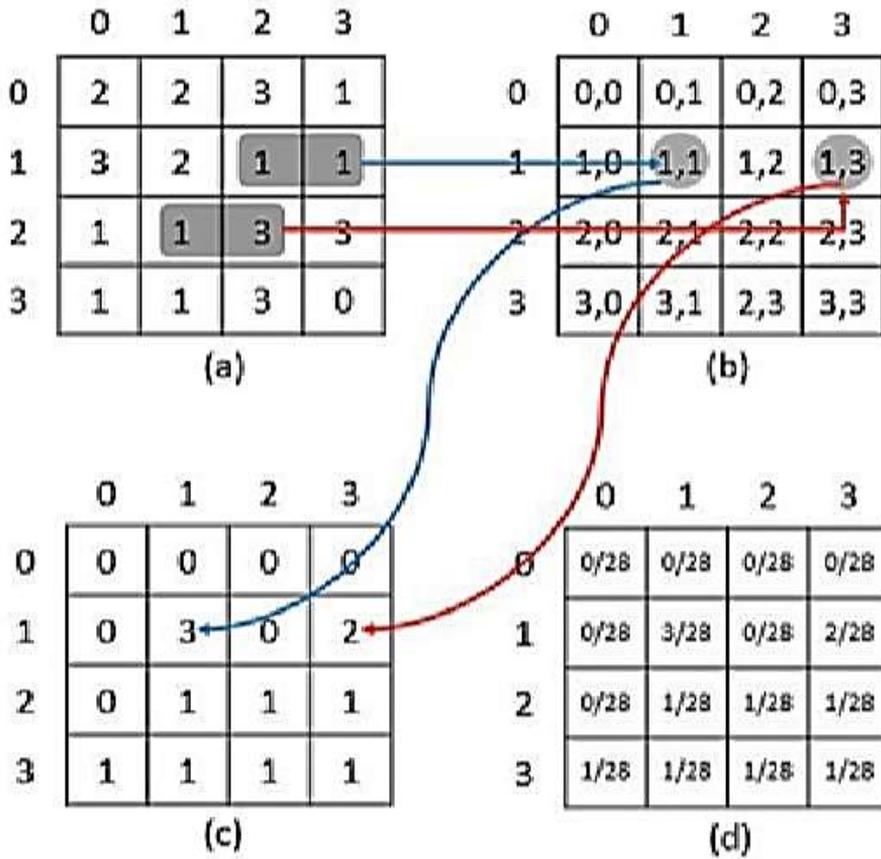
يظهر الشكل (1) مصفوفة GLCM وعلاقة البيكسل بجواره بأربعة اتجاهات.



الشكل (1): مصفوفة GLCM وعلاقة البيكسل بجواره بأربع اتجاهات.

يبين الشكل (2) مراحل حساب المصفوفة GLCM.

تعطي مصفوفة التواجد المشترك ذات المستوى الرمادي 13 سمة للصورة. في دراستنا، سنركز على السمات الأربع فقط، وهي: (التجانس، الطاقة، الارتباط، التباين). تتميز كل واحدة من هذه السمات بإشارتها الخاصة. يتعرف المصنف (Classifier) إلى كل نسيج وفقاً لطبيعة الإشارة. لقد تم في هذه الدراسة استخدام عدداً مختلفاً من الصور لكل فئة من القماش. بعد المعالجة المسبقة، نحسب مصفوفة التواجد المشترك لكل صورة، ثم نستخرج السمات الإحصائية الأربعة وهكذا. يتم تمثيل كل صورة بوساطة متجه من السمات، وبالتالي يتم التصنيف بالاعتماد على الطبيعة المختلفة للسمات المستخرجة لكل نوع من أنواع القماش.



الشكل (2): مراحل حساب المصفوفة GLCM.

يتم حساب قيم هذه السمات عن طريق العلاقات الآتية:

Homogeneity:

$$ENT = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{C_{mn}}{1 + |m - n|}$$

Correlation:

$$COR = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{(1 - \mu_x)(1 - \mu_y)}{\sigma_x \sigma_y} C_{mn}$$

$$Energy = \sum_i \sum_j C^2(i, j)$$

Contrast:

$$CON = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} (m-n)^2 \cdot C_{mn}$$

حيث:

1- Contrast: يقيس الاختلافات المحلية في مصفوفة التكرار ذات المستوى الرمادي (GLCM).

2- Correlation: يقيس حدوث الاحتمال المشترك لأزواج البكسل المحددة.

3- Homogeneity: يقيس تقارب توزيع العناصر في GLCM على قطري GLCM.

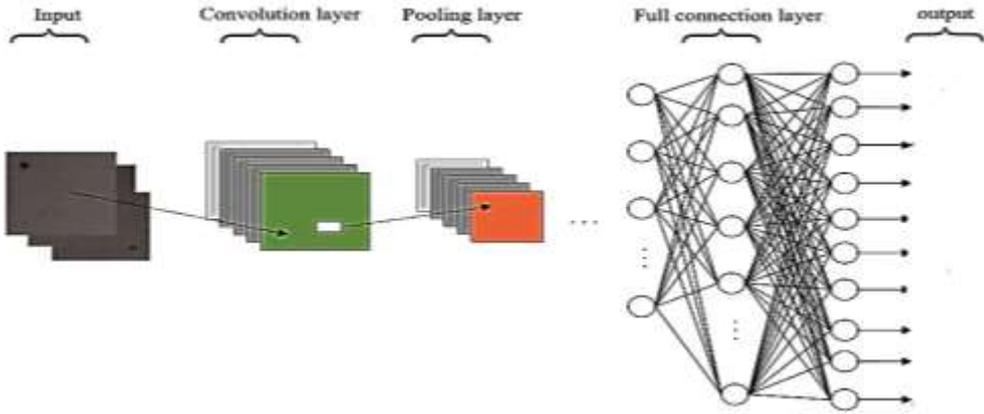
4- Energy: يقيس طاقة البكسل.

4- الشبكات العصبونية الالتفافية (CNN):

شبكات CNN هي نماذج خاصة للشبكات العصبية، وهي مستوحاة من نظام الرؤية البشرية. إن طبقات الالتفاف لشبكات CNN لها أوزان مشتركة. حققت الشبكات العصبونية التلافيفية (CNNs) في التعلم العميق نجاحاً ملحوظاً في تطبيقات الرؤية الحاسوبية، والتي لها مزايا خاصة في تصنيف الصور والتعرف والاكتشاف، وتمكنت هذه الشبكات من تحسين دقة الكشف والتصنيف من خلال دراسة الارتباط المكاني للبيانات وتقليل عدد معاملات التدريب في الشبكة.

يظهر الشكل (3) طبقات شبكة CNN.

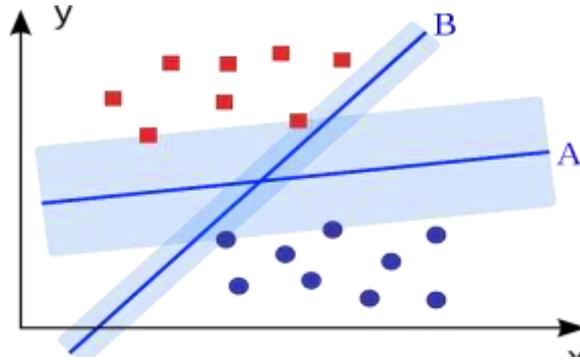
مع الأخذ بالحسبان أن CNN لا يمكنها التعامل مع مشكلة أحجام العينات الصغيرة بشكل جيد للغاية في التصنيف، فمن الضروري بناء بنية تعلم أعمق والحصول على بيانات كبيرة لتدريب النموذج من أجل الحصول على دقة كشف وتصنيف أفضل. إحدى أنواع شبكات CNN هي شبكة RESNET50، وهي شبكة تتكون من 50 طبقة مدربة بشكل مسبق على 1000000 كائناً مختلفاً تم تقسيمهم إلى 1000 صنفاً. سنقوم في هذه الدراسة بتدريب هذه الشبكة على الأصناف HOLE و LIN، والتي تستخدم SVM كمصنف.



الشكل (3): طبقات شبكة CNN.

5- خوارزمية SVM:

هي نماذج تعلم خاضعة للإشراف مع خوارزميات التعلم المرتبطة التي تحلل البيانات المستخدمة في التصنيف وتحليل الانحدار. فإذا كان لدينا مجموعة بيانات مقسومة لفئتين، فإن خوارزمية تدريب SVM أولاً تمثل بيانات التدريب وكأنها نقاط في الفضاء يتم تعيينها بحيث يتم تقسيم بيانات الفئات المنفصلة بوساطة فجوة واضحة واسعة قدر الإمكان، ويتم تصنيف البيانات الجديدة في المساحة نفسها والتنبؤ بأنها تنتمي إلى فئة بناءً على جانب الفجوة التي تقع عليها. تبني نموذجاً يصنف البيانات جديدة لأي فئة تنتمي ما يجعلها مصنفاً خطياً. بالإضافة إلى إجراء التصنيف الخطي، يمكن أن تقوم SVM بكفاءة بإجراء تصنيف غير خطي باستخدام ما يسمى خدعة kernel. يظهر الشكل (4) آلية مبسطة لعمل SVM الخطية.



الشكل (4): آلية مبسطة لعمل SVM الخطية.

6- الدراسات المرجعية:

1 " *Real Time Automated Fabric Defect Detection System using* " *Microcontroller*

تم إجراء هذه الدراسة في بنغلادش في عام 2008، قام الباحثون Tamnun E Mursalin*1, Fajrana Zebin Eishita*2, Ahmed Ridwanul Islam*3, Dr. Md Jahangir Alam بإجراء هذه الدراسة لاكتشاف ثلاثة أنواع من الأخطاء الشائعة جداً في إنتاج المنسوجات، وهي الثقب والخدش والتلاشي، إذ يطبق هذا البحث كاشف عيوب النسيج الذي يستخدم منهجية الرؤية الحاسوبية مع مزيج من الشبكات العصبية متعددة الطبقات لتحديد تصنيف عيوب النسيج واكتشافها بنظام ميكانيكي تم تكوينه في الوقت الفعلي يحتوي على متحكم دقيق. وبينت النتائج أنه تم تحديد الثقب بنجاح بنسبة %86، والتلاشي %66، والخدش %77. يبلغ متوسط الدقة الإجمالية لاكتشاف الأخطاء %76.3. الإيجابيات:

- إن الفحص البصري التلقائي يحمي كلاً من: العامل من التعب والإرهاق والجودة.
 - تم إثبات أن نظام التعرف إلى عيوب المنسوجات قادر على اكتشاف عيوب الأقمشة بمزيد من الدقة والكفاءة.
- السلبات:
- في بعض الأحيان يتم العثور على النسيج المثالي أيضاً كجزء معيب.

2 " *Development of a machine vision system: real-time fabric* " *defect detection and classification with neural network*

تم إجراء هذه الدراسة في عام 2013، وهذه الدراسة تم نشرها في مجلة The Journal of The Textile Institute في 26 December 2014, At: 15:56. قام الباحثون H.İ. Çelika*, L.C. Dülgerb and M. Topalbekiroğlu بإجراء هذه الدراسة على خمسة أنواع من العيوب شائعة الحدوث، عدم الالتواء (warp lacking)، نقص اللحمة (weft lacking)، ثقب (hole) الخيط المتسخ (soiled yarn)، تدفق

الغزل (yarn flow) كانت أنواع الأقمشة المدرجة في قاعدة البيانات بشكل أساسي أقمشة منسوجة من نسيج قطني طويل عادي. إذ تم تطوير نظام رؤية الآلة لتحقيق عمليات فحص النسيج وتصنيف العيوب تلقائياً. يتكون النظام من أجهزة الحصول على الصور وبرنامج معالجة الصور. تم تصميم نظام بسيط ومحمول بحيث يمكن تكييفه بسهولة مع جميع أنواع آلات فحص النسيج. يتكون برنامج النظام من خوارزميات الكشف عن العيوب والتصنيف. تم تطبيقه في الزمن الحقيقي عبر واجهة مستخدم تم إعدادها باستخدام برنامج MATLAB. يعتمد نهج تصنيف الخلل على مصفوفة التواجد ذات المستوى الرمادي وتغذية الشبكة العصبونية الأمامية. وبينت النتائج أنه تم الكشف عن مناطق النسيج المعيبة والخالية من العيوب بدقة 93.4% وتم تصنيف العيوب بمعدل دقة 96.3%.

الإيجابيات:

- سيعمل نظام الكشف الآلي عن العيوب على تعزيز الإنتاجية.
- يمكن تحقيق عملية فحص النسيج في وقت أقصر.
- سيتم تخفيض تكلفة العمالة .
- سيتم خفض التكاليف المتعلقة بالجودة غير الملائمة.

(3 " A PAPER ON AUTOMATIC FABRICS FAULT PROCESSING USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE IN "MATLAB

قام الباحثان R.Thilepa و M.Thanikachalam بإجراء هذه الدراسة، إذ تم تحديد الخطأ الموجود على الأقمشة باستخدام MATLAB مع تقنيات معالجة الصور. يتم التقاط صورة قماش معيبة ثم تصفية الضوضاء في المرحلة الأولية. ثم يتم تحويل الصورة المصفاة الناتجة إلى صورة ذات مقياس رمادي. الآن، تتم معالجة الصورة ذات المقياس الرمادي لعملية الرسم البياني، وأخيراً يتم تنفيذ Thresholding باستخدام برنامج MATLAB 7.3. وهكذا يطبق هذا البحث كاشف عيوب النسيج بمنهجية رؤية النظام في معالجة الصور.

تم استخدام هذه الطريقة لتحديد الأخطاء مثل الثقب والخدش والتلاشي والأخطاء الأخرى في الأقمشة.

وكانت النتائج زادت الكفاءة الإجمالية بنسبة 85% باستخدام هذه العملية مقارنة بالطرائق الأخرى لتحديد الخطأ.

الإيجابيات:

نظام التعرف على عيوب المنسوجات قادر على اكتشاف عيوب الأقمشة بمزيد من الدقة والكفاءة.

"4 Texture Feature Extraction Using Co-Occurrence Matrices"

"of Sub-Band Image For Batik Image Classification"

تم إجراء هذه الدراسة في 2014 في أندونيسيا من قبل الباحثين Agus Eko Minarno * و Yuda Munarko * و Arrie Kurniawardhani † و Fitri Bimantoro † Nanik Suciati، إذ أن الطريقة المقترحة في هذه الدراسة تسمى مصفوفات التواجد المشترك لصور النطاق الفرعي. تم اقتراح هذه الطريقة للتغلب على مشكلة تصنيف صور الباتيك التي يتم الحصول عليها بشكل عشوائي من الإنترنت. مشكلة تلك الصور هي أن الصور الباتيك تحتوي على أنواع مختلفة من الضوضاء، مثل السطوع غير المتوازن، وهناك طيات على صور الأقمشة، ومختلف أحجام الدوافع الأساسية، والتباين المنخفض، وهناك علامات مائية على التباين. DWT. أولاً، يتم تحليل الصورة الأصلية باستخدام DWT لتوفير صور النطاق الفرعي. ثانيًا، يتم تطبيق GLCM على صور النطاق الفرعي لاستخراج ميزات النسيج. ستصبح هذه الميزات هي المدخلات للشبكة العصبية الاحتمالية (PNN). أظهرت النتائج أن هذه الطريقة قوية بما يكفي لتصنيف صور الباتيك. الدقة القصوى التي يمكن تحقيقها هي 72%.

الإيجابيات:

- الكشف عن صور الباتيك التي تحوي أنواعاً مختلفة من الضوضاء.
- تم الاستنتاج أن الجمع بين تحليل نسيج الموجات و GLCM قادر على استخراج الخاصية المتأصلة في كل فئة من صور الباتيك بشكل فعال.

السليبيات:

- كانت دقة الكشف منخفضة.

5 " *Brain MR image classification using two-dimensional discrete wavelet transform and AdaBoost with random forests* "

قام الباحثون Deepak Ranjan Nayak/ Ratnakar Dash/ Banshidhar Majhi بإجراء هذه الدراسة في 2016، يقدم هذا البحث نظام تشخيص آلي ودقيق بمساعدة الكمبيوتر (CAD) لتصنيف صور الرنين المغناطيسي للدماغ (MR) يستخدم النظام أولاً التحويل المويجي المنفصل ثنائي الأبعاد (2D DWT) لاستخراج الميزات من الصور. بعد تسوية متجه السمات للصورة، يتم استخدام تحليل المكون الرئيس الاحتمالي (PPCA) لتقليل أبعاد متجه السمات. يتم تطبيق الميزات المصغرة على المصنف لتصنيف صور الرنين المغناطيسي إلى صور عادية وغير طبيعية. يستخدم هذا النظام خوارزمية AdaBoost مع غابات عشوائية كمصنف أساسي. تم استخدام ثلاث مجموعات بيانات معيارية لصورة MR، وهي Dataset-66 و Dataset-160 و Dataset-255، للتحقق من صحة النظام المقترح. يتم استخدام مخطط تحقق متقاطع طبقي 5×5 لتعزيز قدرة التعميم للمخطط المقترح. تتم مقارنة نتائج المحاكاة مع المخططات الحالية، ويلاحظ أن المخطط المقترح يتفوق على الآخرين في جميع مجموعات البيانات الثلاث.

6 " *Fabric Defect Detection Using Fuzzy Inductive Reasoning Based on Image Histogram Statistic Variables* "

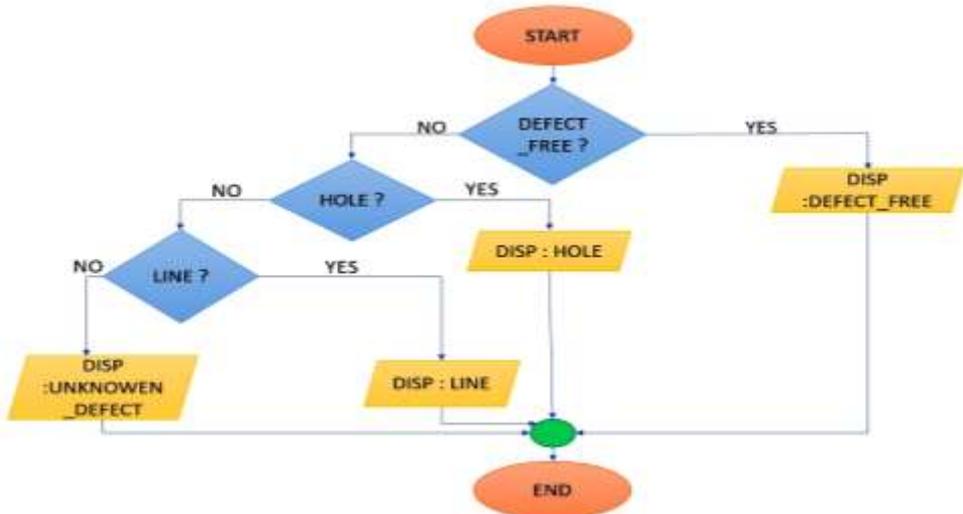
قام الباحث Yuan Ye بإجراء هذه الدراسة في الصين، وتم نشرها في 2009 في المؤتمر الدولي السادس حول الأنظمة الضبابية واكتشاف المعرفة، تتناول هذه الورقة الاستدلال الاستقرائي الضبابي (FIR) لاكتشاف عيوب النسيج. استناداً إلى الملمس الخطي والمنظم للنسيج، نقوم أولاً باستخراج هيستوغرام المتغيرات الإحصائية كسمات مميزة بين صور النسيج الخالية من العيوب والمعيوبية من خلال تطبيق FIR على هيستوغرام المتغيرات الإحصائية وطرح قيم فئة المتغيرات الإحصائية الحقيقية وقيم الفئة المتوقعة باستخدام النموذج النوعي. يتم حساب الأخطاء التراكمية التي تُستخدم لتحديد ما

إذا تم اكتشاف عيب. تظهر تجارب المحاكاة أن الطريقة المقترحة يمكن أن تحقق كشف قوي ودقيق لعيوب النسيج.

7- منهجية العمل:

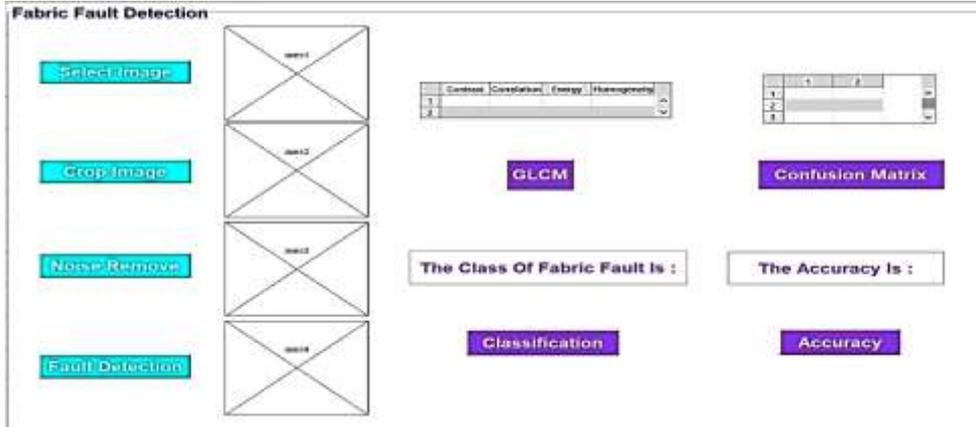
يمكننا تقسيم خوارزمية العمل إلى ثلاث خطوات رئيسية، الشكل (5).

1. مرحلة ادخال ومعالجة الصورة (Input and Pre-Processing Image):
يتم اختيار الصورة من قاعدة البيانات الخاصة بنا، إذ من الممكن أن يتم أخذ هذه الصورة عن طريق ماسح ضوئي متصل بجهاز كمبيوتر شخصي، ولكن عادةً ما تكون الصور التي تم الحصول عليها غير مناسبة للتصنيف بسبب عوامل مختلفة، مثل الضوضاء واختلافات الإضاءة، وما إلى ذلك. لذلك، تتم معالجة هذه الصور مسبقاً باستخدام مرشحات لإزالة الميزات غير المرغوب فيها.
2. مرحلة حساب متجه سمات الصورة باستخدام خوارزمية GLCM (Features Extraction).
مرحلة حساب متجه سمات الصورة باستخدام خوارزمية GLCM (Features Extraction).
3. تصنيف الصورة باستخدام مصنف SVM (Classification Using SVM).
تصنيف الصورة باستخدام مصنف SVM (Classification Using SVM).



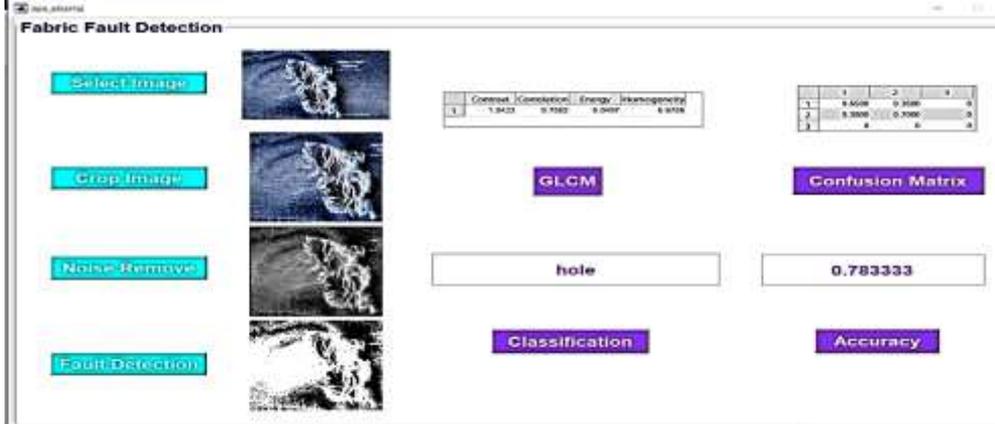
الشكل (5): خوارزمية العمل المقترحة.

ثم نقوم بتقييم أداء الشبكة، وذلك من خلال حساب مصفوفة الارتباك والدقة، وكذلك تم تصميم واجهة GUI لتسهيل تعامل المستخدم مع هذا النظام. يوضح الشكل (6) الواجهة التي تم تصميمها.



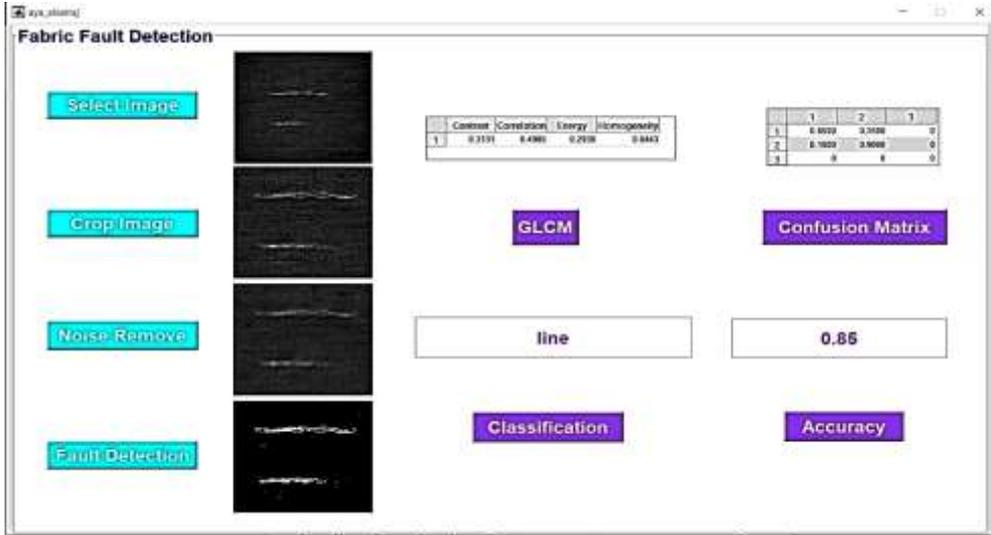
الشكل (6): الواجهة التي تم تصميمها.

اختبار الثقب:



الشكل (7): اختبار الثقب.

اختبار الخط:



الشكل (8): اختبار الخط.

8- الاستنتاج:

في هذه الدراسة، تم إنشاء نظام كشف آلي عن عيوب النسيج، وذلك للتعرف على نوعين من أنواع عيوب النسيج (Hole, Line). إذ يتم إدخال هذه الصورة للنظام ومعالجتها (تنقية من الضجيج، تعتيب، ثم قمنا باستخراج ميزات هذه الصورة باستخدام خوارزمية التواجد المشترك (GLCM)، وتم التصنيف باستخدام خوارزمية SVM. وكانت النتائج أنه حصلنا على دقة كشف للقب 78.33 % ودقة كشف للخط 85,00%.

9- المراجع:

- 1- A. E. MINARNO, Y. MUNARKO, A. KURNIAWARDHANI, F. BIMANTORO AND N. SUCIATI, "TEXTURE FEATURE EXTRACTION USING CO-OCCURRENCE MATRICES OF SUB-BAND IMAGE FOR BATIK IMAGE CLASSIFICATION," 2014 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY (ICOICT), BANDUNG, 2014, PP. 249-254, DOI: 10.1109/ICOICT.2014.6914074.

- 2- SALEM, YASSINE BEN, AND SALEM NASRI. "TEXTURE CLASSIFICATION OF WOVEN FABRIC BASED ON A GLCM METHOD AND USING MULTICLASS SUPPORT VECTOR MACHINE." 2009 6TH INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON SYSTEMS, SIGNALS AND DEVICES. IEEE, 2009.
- 3- Minarno, Agus Eko, et al. "Texture feature extraction using co-occurrence matrices of sub-band image for batik image classification." 2014 2nd International Conference on Information and Communication Technology (IColCT). IEEE, 2014.
- 4- Wei, Bing, et al. "A new method using the convolutional neural network with compressive sensing for fabric defect classification based on small sample sizes." Textile Research Journal 89.17 (2019): 3539-3555.
- 5- Schalkoff, Robert J. "Pattern recognition." Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering) 2007.

الدراسة النظرية لنظام تحلية مياه البحر بطريقة التجفيف والترطيب باستعمال مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف

الباحث: م. بشار شيخ عبد الله

□ ملخص □

الهدف من هذا البحث هو إجراء دراسة نظرية لتأثير ظروف التشغيل المختلفة لنظام التحلية، وأنواع سخانات الهواء، وبعض معايير التصميم المختلفة وحالة الطقس على تحلية المياه بالطاقة الشمسية تحت الشروط المناخية لمدينة اللاذقية والتي تقع على خط عرض (35.5°) شمال خط الاستواء .

ولهذا الهدف تم وضع برنامج في بيئة (matlab) على أساس النموذج الرياضي لهذا النظام , تتألف وحدة التحلية المقترحة من مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف بغطاء زجاجي مزدوج , حجرة ترطيب (تبخير), مسخن ماء شمسي, حجرة تجفيف (تكثيف) . ويستند هذا النظام على مبدأ الدارة المغلقة للماء والدارة المفتوحة للهواء . يتم تسخين الهواء باستخدام مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف القناة ويتم تسخين الماء بمسخن ماء شمسي مسطح.

تبين الدراسة أن عملية (التسخين - الترطيب) في حجرة الترطيب هي أفضل من حيث الإنتاجية مقارنة مع عملية (التبريد - الترطيب) من أجل نفس الشروط الابتدائية للهواء . كما تبين أن الإنتاجية تزداد بنسبة (30%) على الأقل عند استخدام مسخن هواء شمسي مضاعف مقارنة مع إنتاجية الدارة بدون استخدام مسخن هواء شمسي , وأن زيادة تدفق هواء التغذية يلعب دورا أكبر في الإنتاجية مقارنة مع زيادة تدفق ماء التغذية , وإن درجة حرارة المزيج (بخار + هواء) على مخرج حجرة الترطيب تتأثر بشكل ضئيل بمعدل تدفق ماء التغذية , وتتأثر بشكل كبير بمعدل تدفق هواء التغذية , وأن أفضل إنتاجية للدارة نظريا هي (57 kg/day) .

الكلمات المفتاحية : تحلية مياه البحر بالطاقة الشمسية , التجفيف والترطيب, مسخن هواء شمسي مسطح مضاعف, طاقة شمسية .

Theoretical investigation of a humidification dehumidification desalination sea water system configured by a double-pass flat plate solar air heater

Eng. Bashar shikh Abdullah

Faculty of Mechanical and Electrical , Tishreen University.

□ Abstract □

The aim of this research is to conduct a theoretical study of the impact of different operating conditions of the desalination system, types of air heater, and some different design parameters and a weather condition on a solar water desalination system performance under the climatological conditions of Lattakia, located at 35.5 ° latitude north of the Equator.

For this purpose, a program has been developed in a matlab environment based on the mathematical model of this system. The proposed desalination unit consists of a double flat solar air heater with a double glass cover, a fumigation chamber, a solar water heater, and a condensing chamber. This system is based on the principle of closed water circuit and open air circuit.

The air is heated using a flat solar heater and the water is heated by a flat solar water heater. It turns out that the process of heating - humidification in the humidification chamber is better in terms of productivity compared to the process of cooling - humidification for the same conditions of the initial air.

It is also shown that productivity increases by at least 30% when using a double solar air heater compared to the circuit without the use of a solar air heater, and that the increase in the flow of nutrition air plays a greater role in productivity compared to increasing the flow of water. Steam and air) on the outlet of the humidification chamber are minimally affected by the flow rate of feed water, and are significantly affected by the flow rate of feed air, Theoretically the best productivity of the circuit is (57 kg / day).

Keywords: Solar desalination, Humidification-dehumidification , Double-pass flat plate solar air heater, Solar power, Energy conservation

1- مقدمة :

على مدى العقود الأربعة الأخيرة بدأت تشح المياه في سوريا مع ما يرافقها من جفاف لبعض الأنهار مثل القويق وبردی والكبير الشمالي مع انحسار للمناطق الخضراء ذلك بسبب التغيرات المناخية العالمية والناجمة عن التلوث، مما سيؤجج الصراع على المياه في هذه المنطقة. لذا لا بد من البحث عن مصادر مستقبلية لمياه الشرب والري مثل تحلية مياه البحر. بينت الأبحاث [1], [2], [3] أن عمليات التحلية الرئيسية لمياه البحر تستهلك كمية كبيرة من الطاقة الحرارية والكهربائية الناتجة عن النفط والغاز الطبيعي، كما ينبعث عنها غاز CO_2 الضار. بينما تستخدم عملية التحلية بواسطة الطاقة الشمسية تقنيات الطاقة المتجددة لإنتاج المياه العذبة. إن الجمع بين مبدأ التجفيف والترطيب والتحلية بالطاقة الشمسية يؤدي إلى زيادة كفاءة ومردود محطات التحلية. وسوف تتم مقارنة طرق التحلية المختلفة مع بعضها البعض من أجل تحديد الطريقة الأكثر الاقتصادية مقارنة مع الطرق الأخرى. في الدراسة التي قام بها العالم (Delyannis) [4] للمحطات ذات الإستطاعات الصغيرة تقريباً أقل من ($70 m^3/day$)، بينما تكلفة محطات التحلية باستخدام اللواقط الشمسية كبيرة مقارنة مع الطرق الأخرى لأنها تحتاج إلى مساحات كبيرة من اللواقط الشمسية، كما ظهر بأنه لإنتاج ($1 m^3/day$) من المياه العذبة فإننا نحتاج إلى ($250 m^2$) من اللواقط الشمسية المسطحة، وبالتالي فهذه الطريقة غير اقتصادية والسبب في ذلك هو ضياع الحرارة الكامنة في المكثف إلى الوسط الخارجي وعدم الاستفادة منها. قام العالم (Glueckstern) [5] بالمقارنة بين طريقتي التناضح العكسي (RO) ومتعدد التأثير (MED) وذلك لمحطتين تعملان تقريباً بنفس الشروط والإستطاعات وكلفة البناء. وذلك من أجل إستطاعتين مختلفتين ($20000 - 200000 m^3/day$) فبين بان الكلفة الإستثمارية للمحطة التي تعمل بطريقة (RO) بإستطاعة ($20000 m^3/day$) هي ($20 \$/L$) مقارنة مع ($48 \$/L$) للمحطة التي تعمل بطريقة (MED)، وأيضاً الكلفة الإستثمارية للمحطة التي تعمل بـ (RO) بإستطاعة ($200000 m^3/day$) هي ($160 \$/L$) مقارنة مع ($380 \$/L$)

للمحطة التي تعمل بـ (MED). أيضاً الكلفة الكلية لإنتاج الماء (كلفة الإنشاء + كلفة الاستثمار) في الطريقة (RO) أقل منها للمحطة التي تعمل بالطريقة (MED) . حيث أن المحطة التي تعمل باستطاعة (20000 m³/day) بالطريقة (RO) تكلف (0.77 \$/m³) مقارنة مع (0.89 \$/m³) بالطريقة (MED)، والمحطة التي تعمل باستطاعة (200000 m³/day) بالطريقة (RO) تُكلف (0.66 \$/m³) مقارنة مع (0.71 \$/m³) بالطريقة (MED). بالتالي فإن طريقة التناضح العكسي أكثر اقتصادية من طريقة (MED).

قام العالم (El – Dessouky) [6] ، بمقارنة ثلاث محطات إحداها تعمل بطريقة التجفيف والترطيب (HD) والثانية بطريقة التحلية الوميضية متعددة المراحل (MSF) والثالثة بطريقة التناضح العكسي (RO) ، حيث تم تشغيل هذه المحطات بالاستفادة من حرارة الغازات المغادرة للغازية والمطروحة إلى الوسط الخارجي. المحطات الثلاثة تقريباً نفس الحجم ونفس كلفة الإنشاء .

ولقد تمت مقارنتها من ناحية كلفة الاستثمار وكمية استهلاك الطاقة ، فتبين بأن طريقة التجفيف والترطيب تستهلك (3.9772 kw) لإنتاج (1 L) من المياه العذبة مقارنة مع (23.9 kw) لإنتاج (1 L) ليتر من المياه العذبة بطريقة (MSF) و (49 kw) بطريقة التناضح العكسي (RO)، كما أن تكلفة إنتاج (1 m³) من الماء المنتج هي (287 \$) لطريقة التجفيف والترطيب مقارنة مع (3642\$) و (1906\$) للطريقتين (RO) و (MSF) على الترتيب . وبالتالي فإن طريقة التجفيف والترطيب هي الأكثر اقتصادية مقارنة مع الطرق الأخرى .

2- أهمية البحث وأهدافه :

بما أن مصادر الطاقة محدودة وفي طريقها إلى النفاذ لا بد من الاستفادة من الطاقات المتجددة في تحلية مياه البحر مثل الطاقة الشمسية، أن الهدف من هذا البحث هو دراسة محطة لتحلية مياه البحر وتصميم منشأة - نموذج لتحلية مياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية، من ثم وضع نموذج رياضي لهذه المنشأة ووضع برنامج في بيئة الـ (Matlab) تحت الشروط المناخية لمدينة اللاذقية والتي تقع على خط عرض (35.5) شمال خط

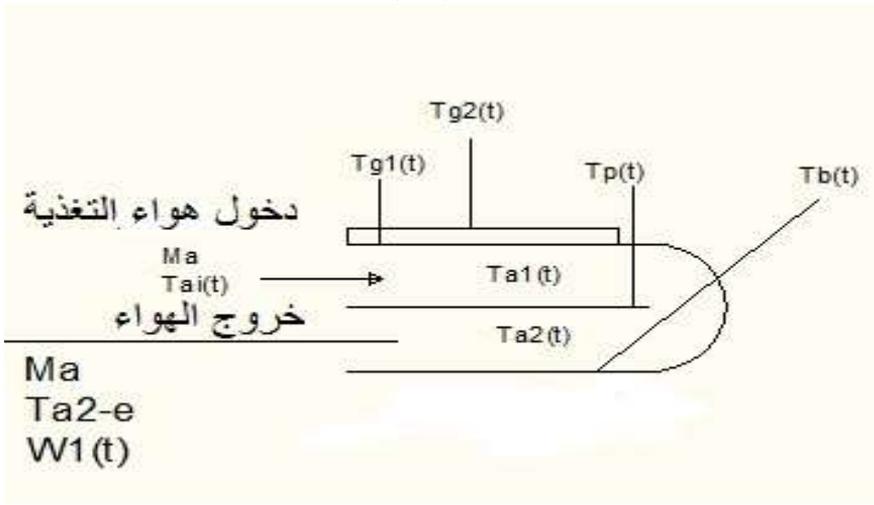
الاستواء. حيث تم في البداية إجراء دراسة مرجعية لبعض طرق تحلية مياه البحر من حيث الانتاجية والكلفة الاقتصادية، وأيضاً دراسة مرجعية موثقة لمنشآت تحلية مياه البحر بطريقة الترطيب والتجفيف .

وقد تم توضيح بنية كل منشأة من هذه المنشآت وكذلك الخصائص المميزة لها والنتائج التي تم التوصل إليها من قبل الباحثين وتحديد العوامل المؤثرة في إنتاجيتها، تبين الدراسات المرجعية أن معظم منشآت تحلية مياه البحر تعتمد إما على تسخين الهواء أو تسخين الماء المالح أو كليهما دون توثيق علمي نظري وتوصيف لأهمية كل حالة من هذه الحالات . ومن دون توضيح قيم درجات حرارة الهواء وماء البحر، ومن الممكن تمييز عمليتين في حجرة الترطيب اعتماداً على المخطط البسايكومتري للهواء وهي إما عملية (التبريد - الترطيب)، أو (التسخين - الترطيب) ، وبالرجوع الى العمليتين تبين أن عملية (التسخين - الترطيب) يمكن أن تعطي نتائج أفضل في الانتاجية مقارنة مع (التبريد - الترطيب)، ولذا تم تبني هذه العملية، حيث تم تسخين ماء البحر في مسخن ماء باستخدام الطاقة الشمسية الى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الهواء المسخن في مسخن الهواء الشمسي.

3- مخطط دائرة التحلية العاملة بطريقة الترطيب والتجفيف

يبين الشكل (1) مخطط دائرة التحلية والتي تتكون من حجرة الترطيب، وحجرة التجفيف، ومسخن هواء شمسي، ومسخن ماء شمسي. يدخل الهواء إلى مسخن الهواء الشمسي الذي يقوم بتسخين الهواء، ثم إلى حجرة الترطيب، أما ماء البحر فيدخل الى حجرة التجفيف (المكثف) ثم إلى مسخن الماء الشمسي والذي يقوم بتسخين ماء البحر الى درجة الحرارة المطلوبة، فيمتزج الهواء مع بخار الماء المشكل داخل حجرة الترطيب، فيخرج هذا المزيج من أعلى حجرة الترطيب إلى المكثف فيتم تكثيف بخار الماء والحصول على الماء النقي.

- 5- تتم عملية التجفيف (إزالة الرطوبة) على منحنى الإشباع .
 - 6- درجة حرارة الماء الداخل الى حجرة الترطيب تساوي درجة حرارة الماء داخل الخزان المجمع .
 - 7- تبقى درجة حرارة ماء التبريد ثابتة خلال اليوم .
 - 8- الإشعاع الشمسي , درجة حرارة الوسط الخارجي , سرعة الرياح , والرطوبة النسبية للهواء الخارجي تبقى ثابتة خلال الساعة .
- معادلة توازن الطاقة لمسخن الهواء الشمسي هي:



الشكل (2) مخطط مسخن الهواء الشمسي

الغطاء الزجاجي الثاني: [7]

$$m_g \cdot C_{p-g} \cdot \frac{dT_{g2}}{dt} = I \cdot \alpha_g \cdot A_a + q_{r,g1-g2} - q_{c,g2-amb} - q_{r,g2-sky} + q_{c,g1-g2} \quad (1)$$

الغطاء الزجاجي الأول :

$$m_g \cdot C_{p-g} \cdot \frac{dT_{g1}}{dt} = I \cdot \alpha_g \cdot \tau_g \cdot A_a - q_{r,g1-g2} - q_{c,g1-a1} + q_{r,p-g1} - q_{c,g1-g2} \quad (2)$$

قناة الهواء الأولى (الأعلى) :

$$m_a \cdot C_{p-a} \cdot \frac{dT_{a1}}{dt} = q_{c,p-a1} + q_{c,g1-a1} - M_a C_{p-a} (T_{a1-e} - T_{a-i}) \quad (3)$$

الصفحة الماصة: [7]

$$m_p \cdot C_{p-p} \cdot \frac{dT_p}{dt} = I \cdot \alpha_g \cdot \tau_g^2 \cdot A_a - q_{c,p-a2} - q_{c,p-a1} - q_{r,p-g1} - q_{r,p-b} \quad (4)$$

قناة الهواء الثانية :

$$m_a \cdot C_{p-a} \cdot \frac{dT_{a2}}{dt} = q_{c,p-a2} + q_{c,b-a2} - M_a C_{p-a} (T_{a2-e} - T_{a1-e}) \quad (5)$$

الصفحة الخلفية (السفلية): [8]

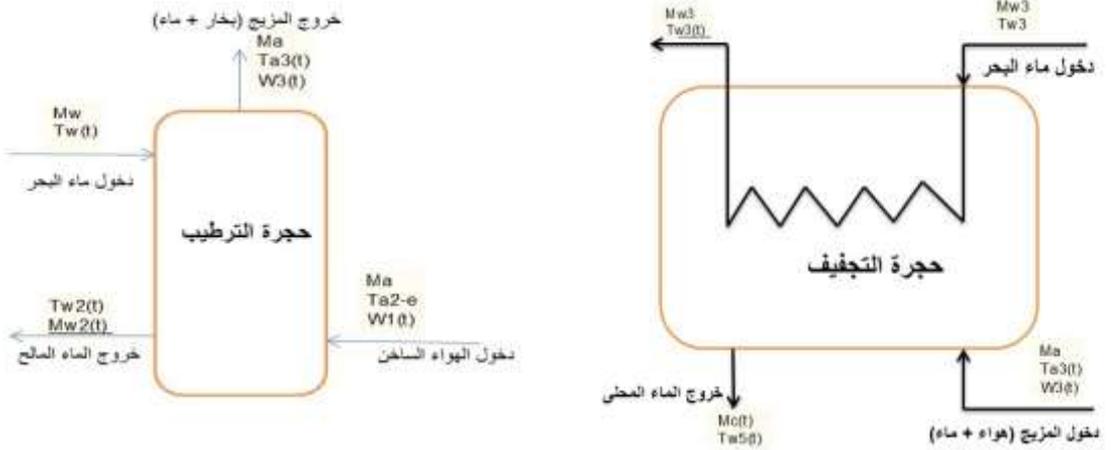
$$m_b \cdot C_{p-b} \cdot \frac{dT_p}{dt} = q_{r,p-b} - q_{c,b-a2} - q_{1,b-amb} \quad (6)$$

حيث : $-q_c$ معدل انتقال الحرارة بالحمل (w) ، $-q_r$ معدل انتقال الحرارة بالإشعاع . (w)

I - الإشعاع الشمسي (w/m^2) ، α_g عامل الامتصاص للزجاج ، amb الوسط الخارجي ،

a_1-e الهواء الخارج من القناة الأول ، a_2-e الهواء الخارج من القناة الثانية ،
 τ_g عامل النفاذية ، M_a - كتلة الهواء (kg) ، M_w - كتلة الماء (kg) ، M_g - كتلة الزجاج (kg) ، M_b - كتلة الصفحة الخلفية

○ معادلات توازن الطاقة للمسخن الشمسي ، حجرة الترطيب ، حجرة التجفيف



الشكل (3) مخطط حجرة الترطيب والتجفيف

حجرة الترطيب :

$$M_a \cdot (h_{a3}(t) - h_{a2-e}(t)) = M_w \cdot C_{p-w} \cdot T_w(t) - M_{w2}(t) \cdot C_{p-w} \cdot T_{w2}(t) \quad (7)$$

حجرة التجفيف (المكثف) :

$$M_a \cdot (h_{a3}(t) - h_{a4}(t)) = M_{w3} \cdot C_{p-w} \cdot (T_{w4}(t) - T_{w3}) + M_c(t) \cdot C_{p-w} \cdot T_{w5}(t) \quad (8)$$

معادلة العقدة (21) :

$$M_{w3} \cdot T_{w3}(t) + M_{w2}(t) \cdot T_{w2}(t) = M_w \cdot T_{w1}(t) \quad (9)$$

معادلة مسخن الماء الشمسي :

$$M_w \cdot C_{p-w} \cdot T_w(t) = M_w \cdot C_{p-w} \cdot T_{w1}(t) + Qu \quad (10)$$

3-2- معادلات انتقال الحرارة :

معادلات انتقال الحرارة في العلاقات السابقة تعطى كالاتي :

$$q_{r,g1-g2} = A_c \cdot h_{r,g1-g2} \cdot (T_{g1} - T_{g2}) \quad (11)$$

حيث :

$$A_c = w \cdot L \quad \text{مساحة اللاقط الشمسي} \quad (12)$$

$$h_{r,g1-g2} = \frac{\sigma \cdot (T_{g1}^2 + T_{g2}^2) \cdot (T_{g1} - T_{g2})}{\left(\frac{1}{\epsilon_{g1}} + \frac{1}{\epsilon_{g2}} - 1\right)} \quad (13)$$

$$q_{c,g2-amb} = A_c \cdot h_{c,g2-amb} \cdot (T_{g2} - T_{amb}) \quad (14)$$

يعطى معامل انتقال الحرارة بالحمل للهواء الذي يتدفق على الغطاء الزجاجي العلوي

بالمعادلة التجريبية التالية حسب ما اقترحه العالم [9]Watmuff:

$$h_{c,g2-amb} = 2.8 + 3 \cdot v_{wind} \quad (15)$$

وتكون كمية الحرارة:

$$q_{r,g2-sky} = A_c \cdot h_{r,g2-sky} \cdot (T_{g2} - T_{sky}) \quad (16)$$

حيث :

$$T_{sky} = T_{amb} - 6 \quad (17)$$

معامل انتقال الحرارة بالإشعاع من الغطاء الزجاجي الثاني إلى الجو الخارجي :

$$h_{r,g2-sky} = \varepsilon_{g2} \cdot \sigma \cdot (T_{g2}^2 + T_{sky}^2) \cdot (T_{g2} + T_{sky}) \quad (18)$$

$$q_{c,g1-g2} = A_c \cdot h_{c,g1-g2} \cdot (T_{g1} - T_{g2}) \quad (19)$$

ومعامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي بين الصفيحة الزجاجية الأولى والثانية :

$$h_{c,g1-g2} = Nu_{g1-g2} \cdot \frac{K_a}{X} \quad (20)$$

يحسب رقم نوسلت من العلاقة التجريبية التالية (حسب العالم Hollands [10]):

$$Nu_{g1-g2} = 1 + 1.44 \times \left[1 - \frac{1708}{Ra \times \cos B} \right] \times \left[1 - \frac{(\sin(1.8) \times B)^{1.6} \times 1708}{Ra \times \cos B} \right] + \left[\left(\frac{Ra \times \cos B}{5830} \right)^{1.3} - 1 \right] \quad (21)$$

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{g1} - T_{g2}) \cdot X^3}{\alpha \cdot \gamma} \quad (22)$$

الخصائص الحرارية للهواء الرطب تعطى حسب العالم (Tiwari[9]) كتابع لدرجة الحرارة بالشكل التالي:

$$K = 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} \times T \quad (23)$$

$$\alpha = 7.7255 \times 10^{-10} \times T^{1.83} \quad (24)$$

$$\gamma = 0.1284 \times 10^{-4} + 0.00105 \times 10^{-4} \times T \quad (25)$$

$$q_{c,g1-a1} = A_c \cdot h_{c,g1-a1} \cdot (T_{g1} - T_{a1}) \quad (26)$$

يعطى معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري في القناة العلوية للمسخن الهواء الشمسي بالعلاقة التالية :

$$h_{c,g1-a1} = Nu_{g1-a1} \cdot \frac{K_a}{X} \quad (27)$$

$$D_h = \frac{4 \cdot A_{sec}}{2 \cdot w + 2 \cdot D} \quad (28)$$

من أجل الجريانالصفحي يعطى رقم نوسلت بالعلاقة التالية (حسب [Mercer9]) :

$$Nu_{g1-a1} = 4.9 + \frac{0.0606 \cdot (Re_{a1} \cdot Pr \cdot D_h / L)^{1.2}}{1 + 0.0909 \cdot (Re_{a1} \cdot Pr \cdot D_h / L)^{0.7} \cdot Pr^{0.17}} \quad (29)$$

حيث : B : زاوية ميلان المسخن الشمسي D_h : القطر الهيدروليكي (m)

ومن أجل الجريان المضطرب فان رقم نوسلت يعطى بالعلاقة التالية حسب (Gnielinski[10]):

$$Nu_{g1-a1} = \frac{\left(f_{a1}/8\right) \times (Re_{a1} - 1000) \times Pr}{1 + 12.4 \times \left(f_{a1}/8\right)^{0.5} \times (Pr^{0.67} - 1)} \quad (30)$$

حيث Re_{a1} رقم رينولدز و f_{a1} عامل الاحتكاك :

$$Re_{a1} = \frac{V_{a1} \cdot D_h}{\gamma_{a1}} \quad (31)$$

$$f_{a1} = (0.79 \times \ln Re_{a1} - 1.64)^{-2} \quad (32)$$

$$q_{r,p-g1} = A_c \cdot h_{r,p-g1} \cdot (T_p - T_{g1}) \quad (33)$$

يحسب معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الصفيحة النحاسية الماصة والغطاء الزجاجي

الأول من المعادلة (12) بتبديل T_p بـ T_{g2} و تبديل ε_p بـ ε_{g2} :

$$q_{c,p-a1} = A_c \cdot h_{c,p-a1} \cdot (T_p - T_{a1}) \quad (34)$$

$$h_{c,p-a1} = h_{c,g1-a1} \quad (35)$$

ودرجة حرارة الهواء على مخرج القناة العلوية للمسخن الشمسي :

$$T_{a1-e} = 2 \cdot T_{a1} - T_{a-i} \quad (36)$$

$$q_{c,p-a2} = A_c \cdot h_{c,p-a2} \cdot (T_p - T_{a2}) \quad (37)$$

يحسب معامل انتقال الحرارة بالحمل داخل القناة السفلية لمسخن الهواء الشمسي من

العلاقة السابقة التي تحسب معامل انتقال الحرارة بالحمل للقناة العلوية وذلك باستبدال :

$$h_{c,p-a2} = h_{c,b-a2} \quad (38)$$

يجب أن تؤخذ الخصائص الحرارية للهواء المتدفق من القناة السفلية للمسخن الشمسي عند

درجة الحرارة الوسطية للهواء في القناة الثانية .

$$q_{r,p-b} = A_c \cdot h_{r,p-b} \cdot (T_p - T_b) \quad (39)$$

بتبديل $T_p \rightarrow T_{g1}$ ، $T_b \rightarrow T_{g2}$ و $\epsilon_p \rightarrow \epsilon_{g1}$ و $\epsilon_b \rightarrow \epsilon_{g2}$ فان معامل انتقال الحرارة بالإشعاع يحدد من العلاقة (11) .

$$q_{c,b-a2} = A_c \cdot h_{c,b-a2} \cdot (T_p - T_{a2}) \quad (40)$$

وبتطبيق الفرضية (3) فإنه يمكن حساب T_{a2-e} من العلاقة التالية :

$$T_{a2-e} = 2 \cdot T_{a2} - T_{a1-e} \quad (41)$$

$$q_{1,b-amb} = A_c \cdot U_{loss} \cdot (T_b - T_{amb}) \quad (42)$$

$$M_{w2(t)} = M_{w1} - M_a \cdot [W_3(t) - W_1(t)] \quad (43)$$

بتطبيق الفرضية (5-6):

$$T_{w2}(t) = T_{a3}(t) \quad (44)$$

$$M_c(t) = M_a \cdot [W_3(t) - W_4(t)] \quad (45)$$

بتطبيق الفرضية (7-8) فإننا نحصل على العلاقة التالية :

$$T_{q4}(t) = T_{w4}(t) = T_{w5}(t) \quad (46)$$

$$M_{mw}(t) = M_a \cdot [W_3(t) - W_1(t)] \quad (47)$$

$$Q_u = 0.6 \cdot I \cdot A_c \quad (48)$$

3-3 حل جملة المعادلات :

إن حل جملة المعادلات تجري في بيئة (MATLAB) لدراسة تأثير البارامترات المختلفة على معدل إنتاج الدارة. في البداية نفرض قيم درجات الحرارة عند مدخل ومخرج المسخن الشمسي ($T_{g1}, T_{g2}, T_{a1}, T_{a2}, T_{w1}$) قريبة من قيمة درجة حرارة الجو الخارجي ، ونفرض أن درجات الحرارة (T_b, T_p) أعلى من درجة حرارة الوسط الخارجي بـ $(5-10)^\circ C$ على الترتيب. ثم نستفيد من درجات الحرارة الأولية هذه في حساب معاملات انتقال الحرارة التي تعتمد على درجات الحرارة ، وبعد ذلك وباستخدام شروط درجات الحرارة الابتدائية وحساب معاملات انتقال الحرارة عند هذه الشروط يتم حل المعادلات التفاضلية (1-2-3-4-5-6) للحصول على درجات الحرارة الجديدة والتي ستكون شروط ابتدائية للعملية القادمة وهكذا... يتم حساب كمية الماء المكثف (الناتج) في كل لحظة من العلاقة (8) بمعرفة درجة حرارة الهواء الداخل والخارج من وإلى حجرة التجفيف .

وأيضاً يتم حساب نسبة الرطوبة وانتالبي الإشباع للهواء من العلاقة التجريبية التالية
 كتابع لدرجة حرارة الهواء: [11]

$$= 7.7 e^{-7} \times T^3 - 1.95 e^{-5} \times T^2 + 0.00071 \times T + 0.002 \quad (50)$$

$$h_a = 2.82 e^{-5} \times T^4 - 0.00106T^3 + 0.0615 \times T^2 + 1.32 \times T + 10.5 \quad (51)$$

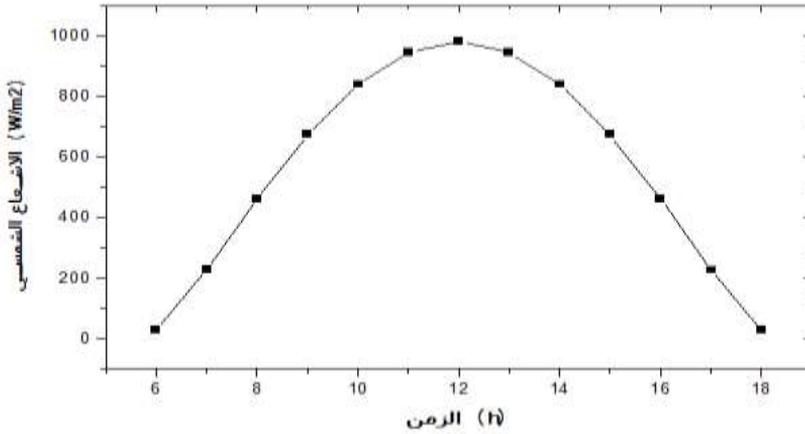
ان بارامترات التصميم والتشغيل التي استخدمت في البرنامج نظمت في الجدول التالي :

جدول (1) بارامترات التصميم

بارامترات التصميم	
$W=0.5$ (أبعاد مسخن الهواء) , $L=1$, $D=0.05$, $x= 0.025$ (m)	
$m_g = 3.75$, $m_b = m_p = 4.5$ (Kg)	
الحرارية $c_{p-g} = 800$, $c_{p-p} = c_{p-b} = 385$, $c_{p-a} = 1006$, $c_{p-w} = 4178$ $\left(\frac{J}{Kg.C}\right)$	
$\varepsilon_{g1} = \varepsilon_{g2} = 0.9$, $\varepsilon_b = \varepsilon_p = 0.95$, $\alpha_g = 0.05$, $\alpha_p = 0.95$, $\tau_g = 0.95$	
$T_{wm} = T_{w3} = 20$ (°C) بارامترات التشغيل	

2-3 النتائج والمناقشة :

إن جميع البارامترات في هذه الدراسة تم أخذها في منتصف شهر أب . يوضح الشكل (4) متوسط الإشعاع الشمسي لسطح مائل في شهر أب من كل سنة في مدينة اللاذقية والتي تقع على خط عرض (35.5)شمال خط الاستواء.

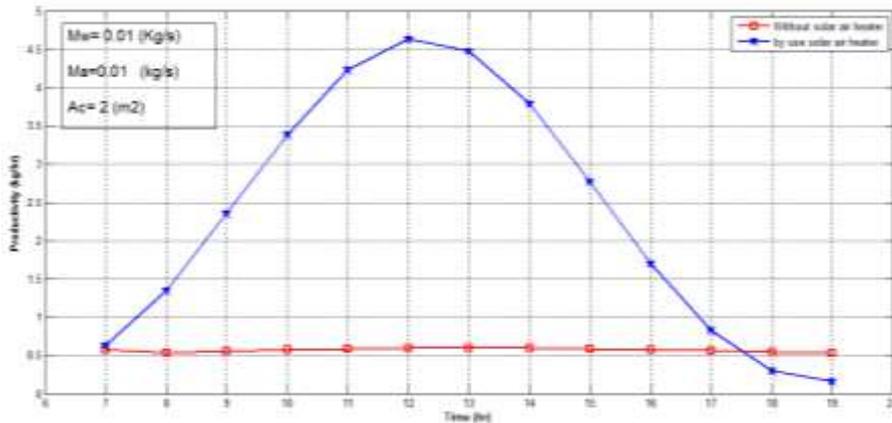


الشكل (4) متوسط الإشعاع الشمسي في مدينة اللاذقية خلال شهر آب

نلاحظ زيادة شدة الإشعاع الشمسي اعتباراً من الساعة السادسة صباحاً لتبلغ قيمتها العظمى عند الساعة الثانية عشر ظهراً ، بعد ذلك تتناقص شدة الإشعاع الشمسي لتبلغ قيمتها الدنيا عند الساعة السادسة مساءً .

- تأثير استخدام مسخن هواء شمسي في إنتاجية الدارة:

يوضح الشكل (a-5) تأثير استخدام مسخن الهواء الشمسي على الإنتاجية من أجل تدفق ماء تغذية إلى حجرة الترطيب ($M_w = 0.01 \text{ kg/s}$) ، وتدفق هواء التغذية ($M_a = 0.01 \text{ kg/s}$) ومساحة مسخن ($A = 2 \text{ m}^2$) .

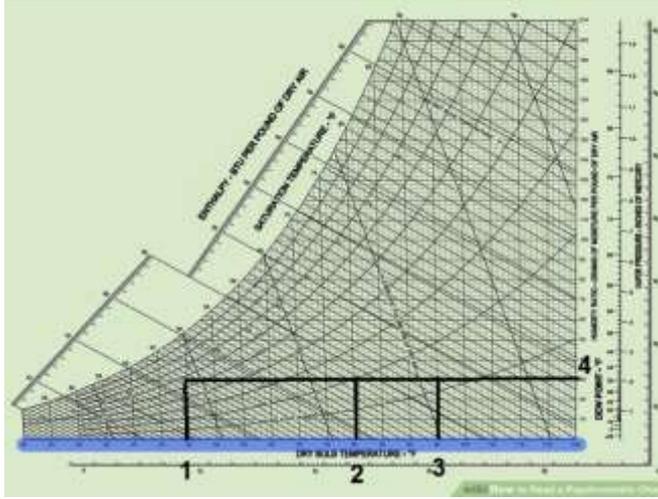


الشكل (a-5) تأثير استخدام مسخن هواء شمسي على إنتاجية الدارة عند نفس شروط

نلاحظ من الشكل (5-a) أن استخدام مسخن هواء شمسي مضاعف يزيد إنتاجية الدارة بشكل واضح, في حين أن إنتاجية الدارة تبقى ثابتة تقريباً وقليلة في حال لم يتم استخدام مسخن هواء شمسي عند نفس شروط التشغيل . إن تسخين الهواء له تأثير كبير جداً في تحسين إنتاجية الدارة بالمقارنة مع الهواء غير المسخن, و يعود السبب إلى ان الرطوبة النسبية للهواء غير المسخن تكون مرتفعة وبالتالي تكون إمكانية حملها لبخار الماء عند تلامسه مع ماء التغذية في حجرة الترطيب منخفضة, كما قد تتعثر عملية التبخر عند تلامس الهواء غير المسخن مع ماء التغذية بسبب انخفاض درجة الحرارة أو قد يحدث تكاثف جزئي لبخار الماء المتشكل , ويمكن تحليل عملية زيادة الإنتاجية مع زيادة تسخين الهواء (الشكل 5-b) وفق ما يلي :

عندما يسخن الهواء بثبات الرطوبة المطلقة (تسخين محسوس) , فإن رطوبته النسبية تتناقص بينما درجة الحرارة الرطبة والجافة تزداد , وهذا يعني بان قدرة امتصاص بخار الماء من قبل الهواء تزداد , وبما أن مساحة سطح تبادل الحرارة لمسخن الهواء الشمسي المضاعف كبيراً , فإن درجة الحرارة الرطبة للهواء المغادر لمسخن الهواء الشمسي المضاعف ستكون أعلى (والرطوبة النسبية أقل) من درجة الحرارة الرطبة للهواء المغادر للمسخن الهواء الشمسي بقناة واحدة , لذا فإن هذا الهواء سيتمكن من حمل كمية أكبر من بخار الماء المتشكل في حجرة الترطيب عندما يمزج معه . وبالتالي فإن مسخن الهواء الشمسي المضاعف له تأثير أكبر على الإنتاجية. لأن عدم تسخين الهواء يؤثر سلباً على عملية الترطيب في حجرة الترطيب , حيث يحدث خلال عملية الترطيب بواسطة الهواء تكاثفاً جزئياً لبخار مما يؤدي إلى انخفاض الإنتاجية .

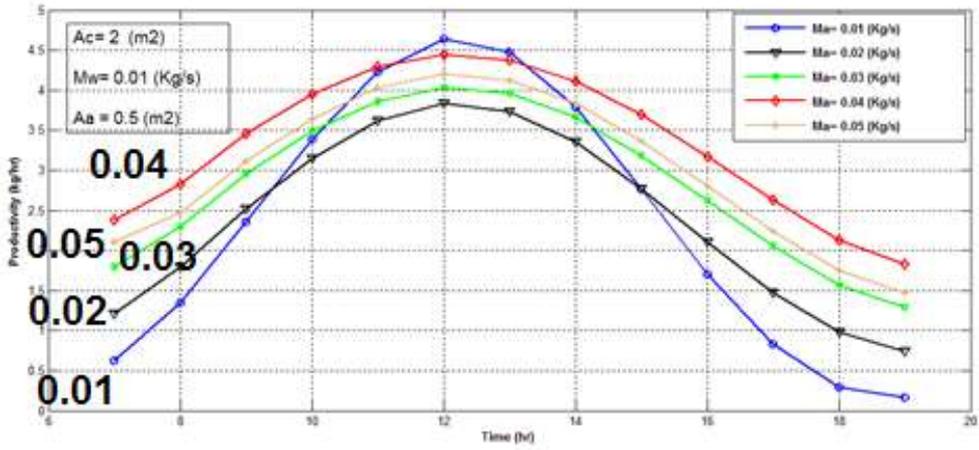
كما نلاحظ من الشكل (5-a) ازدياد الإنتاجية من (0.5 kg/s) عند الساعة 7 صباحاً إلى قيمة عظمى (4.65 kg/s) عند الساعة 12 ظهراً , بعد ذلك تتناقص الإنتاجية إلى قيمة دنيا عند الساعة 6 مساءً حيث تبلغ (0.2 kg/s), وهذا يعود إلى تغير منحنى شدة الإشعاع الشمسي .



الشكل (5-ب) تغيرات حالة الهواء عندما يجتاز مسخن الهواء المضاعف وأحادي القناة عند نفس الشروط.

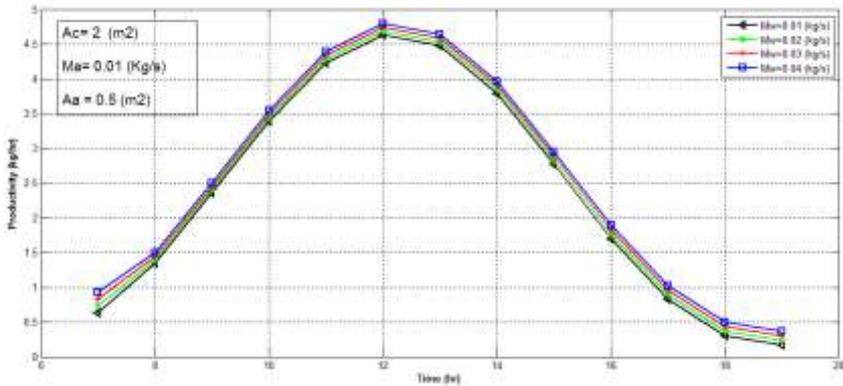
- 1- تمثل درجة الحرارة الجافة للهواء عند مدخل المسخن الشمسي (وحيد وثاني القناة)
- 2- تمثل درجة الحرارة الجافة للهواء المغادر للمسخن الشمسي وحيد القناة .
- 3- تمثل درجة الحرارة الجافة للهواء المغادر للمسخن الشمسي مضاعف (ثاني القناة) .
- 4- تمثل الرطوبة المطلقة للهواء .

نلاحظ أن إنتاجية الدارة تزداد مع زيادة تدفق الهواء بثبات تدفق ماء التغذية مع المحافظة على مساحة كل من المسخن الشمسي للماء والمسخن الشمسي للهواء, وذلك من أجل التدفقات من (0.02 kg/s) إلى (0.04 kg/s), هنا زيادة الانتاجية مرتبطة بزيادة التدفق , أي امكانية حمل لبخار الماء أكبر مع الهواء (طبعاً بوجود حرارة مناسبة). ومن أجل التدفق الأقل (Ma= 0.01 kg/s) فان الإنتاجية الاجمالية خلال اليوم تكون منخفضة ولكن تزداد فقط في أوقات الذروة, ولكن بالرغم من هذه الزيادة تبقى الانتاجية اليومية أقل من انتاجية الدارة من أجل التدفقات الأعلى .



الشكل (6) تأثير معدل تدفق الهواء على إنتاجية الدارة خلال يوم 15 آب

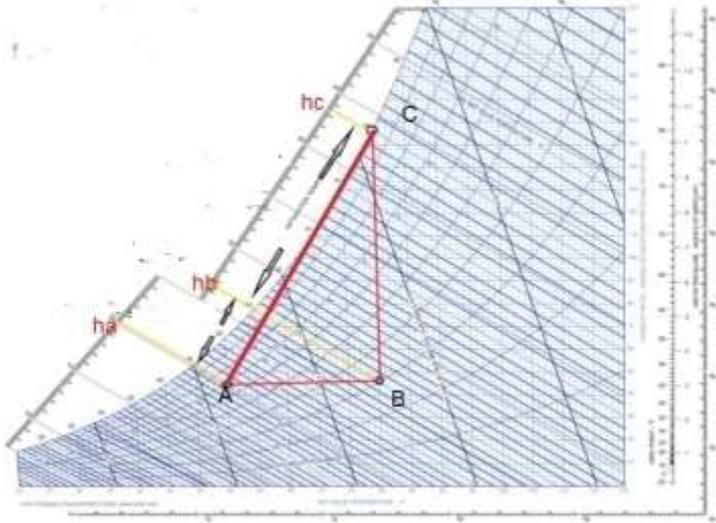
- تأثير معدل تدفق ماء التغذية على إنتاجية الدارة:



يظهر الشكل (7) تأثير معدل تغير تدفق ماء التغذية على إنتاجية الدارة خلال يوم 15 آب . نلاحظ أن إنتاجية الدارة تزداد مع زيادة تدفق ماء التغذية بشكل ضئيل وذلك لأن زيادة تدفق ماء التغذية الساخن تؤدي إلى زيادة التبخر داخل حجرة الترطيب وبالتالي إمكانية ترطيب أكثر من قبل الهواء وفي المحصلة زيادة الإنتاجية.

- تأثير ارتفاع حرارة ماء التغذية في المسخن الشمسي إلى أعلى من درجة حرارة هواء التغذية المسخن:

إن ارتفاع درجة حرارة ماء التغذية الداخل إلى حجرة الترطيب في المسخن الشمسي إلى قيمة أعلى من درجة حرارة هواء التغذية الساخن يؤدي إلى أن العملية التي تحدث في حجرة الترطيب عبارة عن تسخين مع ترطيب وفق المخطط البسايكومتري المبين في الشكل (8) . إن درجة حرارة هواء التغذية ممثلة بالنقطة A والانتالبي هو (h_a)



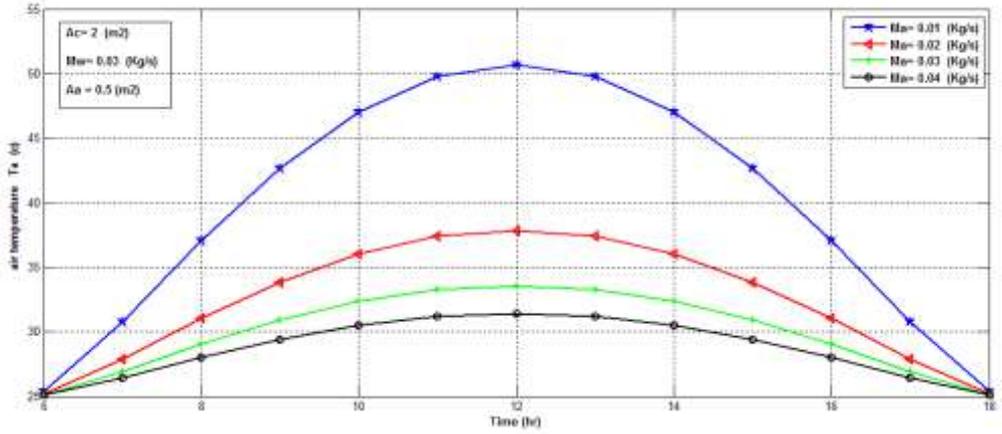
الشكل (8) تأثير رفع درجة حرارة ماء التغذية في المسخن الشمسي فوق درجة حرارة هواء التغذية

أما درجة حرارة ماء التغذية الساخن والداخل إلى حجرة الترطيب فهي ممثلة بالنقطة (B) والانتالبي عند هذه النقطة هو (h_b) , إن درجة الحرارة في النقطة A المميزة للهواء هي أقل من درجة حرارة ماء التغذية المميزة بالنقطة (B) , والرطوبة النسبية للهواء في النقطة (A) هي أعلى من الرطوبة النسبية في النقطة (B) . عندما يصبح الهواء في تماس مع الماء في حجرة

الترطيب بسبب حقيقة أنه عند درجة حرارة أخفض فان درجة حرارته سوف ترتفع وتصل إلى درجة حرارة ماء التغذية الداخل إلى حجرة الترطيب وفق العملية من (A) إلى (B) تحت رطوبة مطلقة ثابتة وكما هو واضح من المخطط أن (h_b) هي أكبر من (h_a) هذا يعني أن انتقال الهواء قد ازداد بمقدار $(h_b - h_a)$ لترتفع درجة حرارته من درجة الحرارة (A) إلى (B) . عندما يتبخر الماء في حجرة الترطيب فإنه يقدم رطوبة وحرارة إلى الهواء حتى يحمل الهواء كل الرطوبة الممكنة ويصل إلى رطوبة نسبية (100%) أي يصبح مشبعاً. إن كمية الحرارة الكامنة التي اكتسبها الهواء من تبخير الماء هي $(h_c - h_b)$. والحرارة الكلية المأخوذة في حجرة الترطيب (الكامنة والمحسوسة) هي $(h_c - h_a)$ حيث تنخفض درجة حرارة الماء بعد تمريره وملامسته للهواء إذ يتخلى عن قسم من حرارته (الحرارة المحسوسة) للهواء من أجل تسخينه كما يفقد قسماً آخر منها بسبب تبخر جزء منه . وتكون كمية الحرارة التي تؤدي إلى تغيير درجة حرارة الهواء من (t_a) إلى (t_b) هي $(h_b - h_a)$, أي أن العملية التي تتم في المجلد في حجرة الترطيب هي وفق الخط من (A) إلى (C). أي أن تخفيض الرطوبة النسبية من (A) إلى (B) أعطت الإمكانية للهواء لحمل بخار الماء حتى الإشباع .

- تأثير تدفق الهواء في درجة حرارة الهواء الداخل الى حجرة الترطيب

يظهر الشكل (9) تأثير تدفق الهواء على درجة حرارة الهواء الداخل الى حجرة الترطيب, تؤدي زيادة تدفق الهواء إلى انخفاض درجة حرارة هواء التغذية الداخل إلى حجرة الترطيب, بسبب انخفاض مقدار التسخين مع زيادة التدفق وثبات كمية الحرارة التي يكتسبها الهواء من المجمع الشمسي $(Q = M_a \cdot c_p \cdot \Delta T)$, ويكون التغير في درجة الحرارة

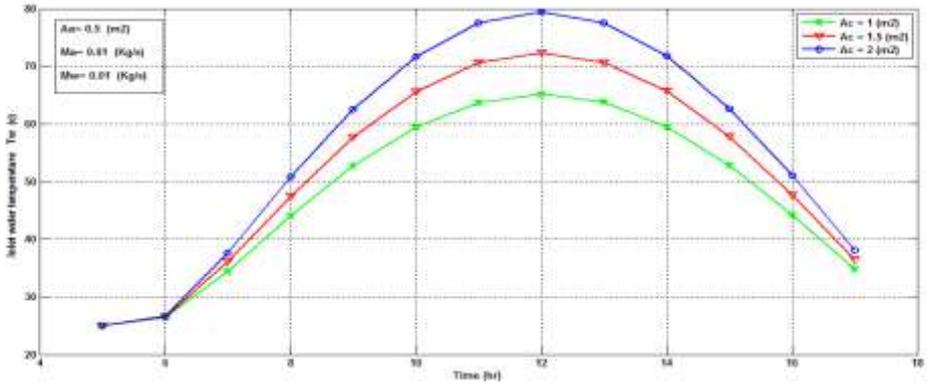


الشكل (9) تأثير تدفق هواء التغذية على درجة حرارة هواء التغذية خلال يوم

هواء التغذية أكبر من أجل قيم التدفقات الأقل, حيث بمقارنة درجات الحرارة لهواء التغذية عند الذروة للتدفقات ($Ma = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 \text{ kg/s}$) نجد درجات الحرارة لهواء التغذية الموافقة هي على التوالي ($51, 38, 33.5, 32 \text{ }^\circ\text{C}$).

- تأثير مساحة مسخن ماء التغذية على درجة حرارة ماء التغذية

يوضح الشكل (11) تأثير مساحة مسخن ماء التغذية على درجة حرارة ماء التغذية , إن زيادة مساحة المسخن تؤدي إلى زيادة درجة حرارة الماء الداخل لحجرة الترطيب وتصل إلى قيمة عظمى ($80 \text{ }^\circ\text{C}$) عند مساحة للمسخن ($Ac=2 \text{ m}^2$). وذلك لأن زيادة (Ac) تؤدي إلى زيادة قيمة (Q_u) (وفق المعادلة (48)), بالتالي إلى زيادة قيمة ($T_w(t)$) (درجة حرارة ماء التغذية) من المعادلة (10) .

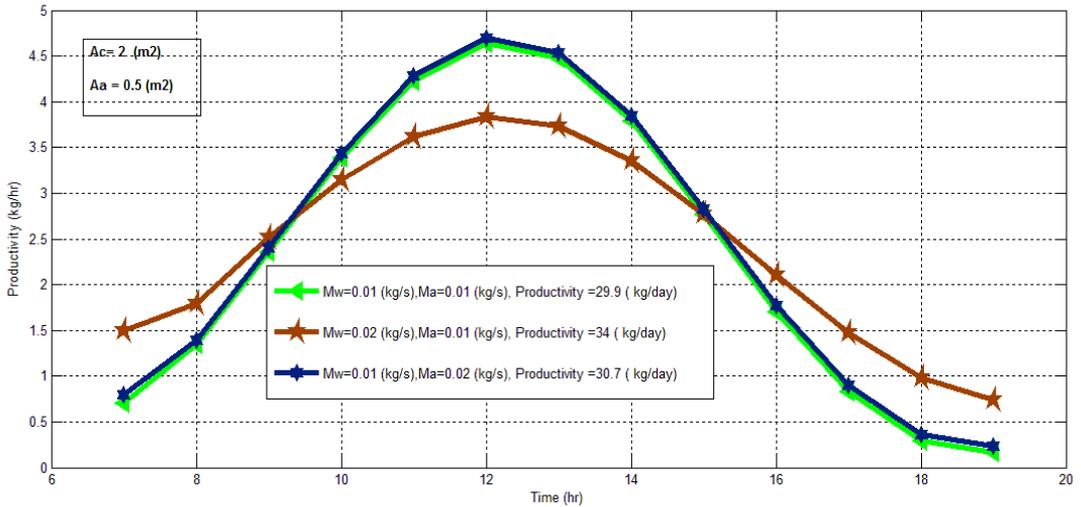


الشكل (11) تأثير مساحة مسخن ماء التغذية على درجة حرارة ماء التغذية

- الانتاجية الافضل خلال اليوم باستخدام البرامترات المختلفة:

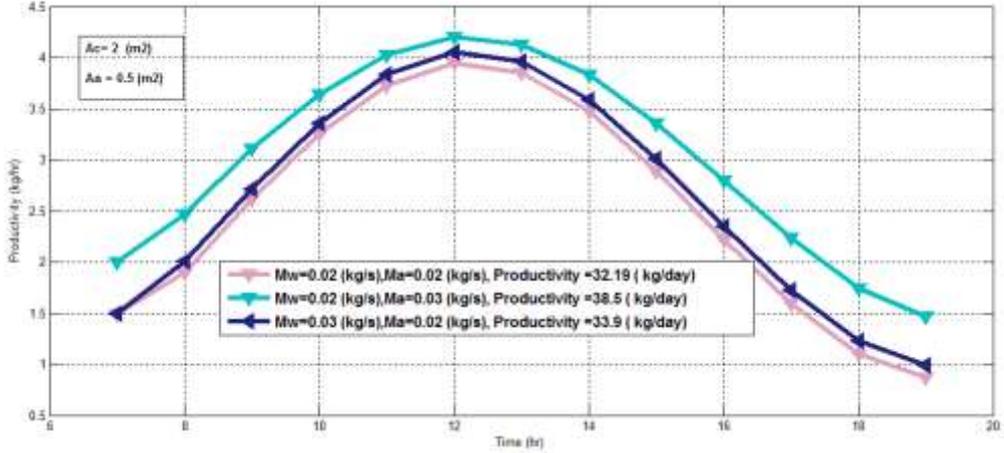
يوضح الشكل (12) إنتاجية الدارة خلال اليوم باستخدام البارامترات الأفضل التي

تم التوصل إليها :



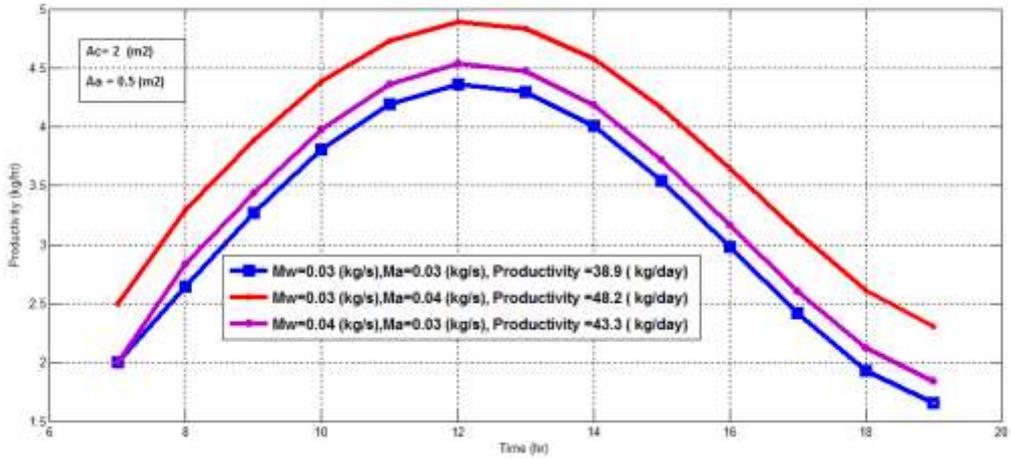
الشكل (1-12) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البرامترات المختلفة

يوضح الشكل (1-12) انتاجية الدارة من أجل قيم مختلفة لتدفقات الهواء ولتدفقات ماء التغذية , وتكون الانتاجية أعلى من من أجل تدفق هواء التغذية (0.01kg/s) وتدفق لماء التغذية (0.02kg/s) حيث تصل الانتاجية الى (34 kg/day) .

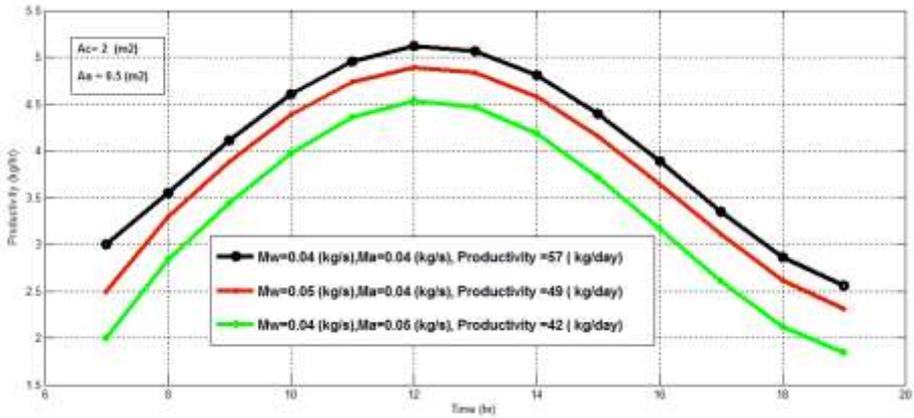


الشكل (2-12) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البارامترات المختلفة

يوضح الشكل (2-12) انتاجية الدارة من أجل قيم مختلفة لتدفقات الهواء ولتدفقات ماء التغذية , حيث نلاحظ بأن الانتاجية تزداد بزيادة قيم تدفقات الهواء والماء .



الشكل (12-3) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البارامترات المختلفة لتدفق الماء وتدفق الهواء



الشكل (12-4) إنتاجية الدارة خلال يوم باستخدام البارامترات المختلفة لتدفق الماء وتدفق الهواء

نلاحظ بان إنتاجية الدارة تتأثر بتدفق الهواء أكثر من تأثرها بقيمة تدفق ماء التغذية لان الهواء هو المسؤول عن حمل بخار الماء المتشكل داخل حجرة الترطيب . وأكبر إنتاجية للدارة هي (57 kg/day) عند تدفق للهواء قدره (Ma=0.04 kg/s) وتدفق للماء يساوي (Mw=0.04 kg/s).

4- الاستنتاجات والتوصيات :

- 1- بعد إجراء الدراسة المرجعية لمنشأة تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة الشمسية بطرق مختلفة تبين أن طريقة الترطيب والتجفيف هي أحد أهم الطرق المستخدمة في العالم وأكثرها اقتصادية.
- 2- تزداد إنتاجية الدارة بمقدار (30%) على الأقل عند استخدام مسخن هواء شمسي مضاعف مقارنة مع إنتاجية الدارة عند عدم استخدام مسخن هواء شمسي.
- 3- تزداد إنتاجية الدارة مع زيادة معدل تدفق ماء التغذية وهواء التغذية بسبب زيادة كمية البخار المتشكل في حجرة الترطيب والمحمول مع الهواء الى حجرة التجفيف.
- 4- إن زيادة مساحة كل من مسخن الهواء الشمسي المضاعف , و مسخن ماء التغذية تؤدي إلى زيادة إنتاجية الدارة .
- 5- إن تأثير معدل تدفق هواء التغذية على زيادة الإنتاجية أكبر من تأثير معدل تدفق ماء التغذية .
- 6- أعلى إنتاجية للدارة قيمتها (57kg/day) عند تدفق للهواء (Ma=0.04kg/s) وتدفق للماء (Mw=0.04 kg/s) خلال يوم 15 آب.
- 7- إن عملية تسخين الماء قبل دخوله إلى حجرة الترطيب في مسخن الماء بالطاقة الشمسية يحسن من الانتاجية (تسخين - ترطيب), وذلك كما يتضح من المخطط البسايكومتري.
- 8- محاولة الاستفادة من هذه الدراسة في اقتراح تصميم لمنشأة فعلية للتأكد من نتائج الدراسة النظرية ودراسة الجدوى الاقتصادية لهذه المنشأة.

المراجع : References

- [1] H. Lienhard V, "Humidification-dehumidification desalination," in *Desalination: Water from Water*, 2nd edition, Chpt.9. Hoboken, NJ: Wiley-Scrivener, 2019, ISBN 978-1-119-40774-4.
- [2] Naseri, A., Bidi, M., Ahmadi, M. H, & Saidur, R. Exergy analysis of a hydrogen and water production process by a solar-driven transcritical CO₂ power cycle with Stirling engine. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 158, 165-181.
- [3] Wu G, Zheng H, Kang H, Yang Y, Cheng P and Chang Z. Experimental investigation of a multi-effect isothermal heat with tandem solar desalination system based on Humidification-Dehumidification process. *Desalination* , 2016; 378: 100-107.
- [4] Delyannis E. Historic background of desalination and renewable energies *Sol Energy*, 2013;75:357–66.
- [5] P. Glueckstern, M. Priel, E. Gelman and N. Perlov, Wastewater desalination in Israel, *Desalination*, 222 (2008) 151-164.
- [6] H.T.A. El-DESSOUKY, Humidification–dehumidification desalination process using waste heat from a gas turbine, *Science Direct, Desalination*, 71 (1989) 19–33.
- [7] Saket Kumar, R.K. Prasad and K.D.P. Singh. Thermal Performance and Economics Analysis of Double Flow Packed Bed Solar Air Heater. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(2), 2017, pp. 176–182.
- [8] Ravish Kumar Srivastava and Ajeet Kumar Rai, Thermal Performance Investigation of A Finned Absorber Plate Solar Air Heater, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(6), 2017, pp. 622–630.
- [9] Janarthanan B., Chandrasekaran J., Kumar S. Performance of floating cum tilted-wick type solar still with the effect of water flowing over the glass cover. *Desalination*, 2006;190:51–62
- [10] Sellami M.H., Belkis T., Ali Ouar M.L., Meddour S.D., Bouguettaia H., Loudiyi K. Improvement of solar still performance

by covering absorber with blackened layers of sponge. G. water Sustain. Dev. 2017;5:111–117.

[11] MuthuManokar A., Prince Winston D., MondolJayanta Deb, SathyamurthyRavishankar, Kabeel A.E., Panchal Hitesh. Comparative study of an inclined solar panel, basin solar still in a passive and active mode. Sol. Energy, 2018;169:206–216.

الرموز والمصطلحات:

- HD : الترطيب والتجفيف [humidification–dehumidification]RO : التناضح العكسي (reverse osmosis)
- MED : تحلية متعددة المراحل (MULTI-EFFECT- DISTILLATION) MEE : التحلية بالتبخير متعدد التأثير
- MSF : التحلية الوميضية متعددة المراحل (Multi-stage flash distillation)
- SEE : التحلية بطريقة ضغط البخار وحيد التأثير
- DPFPSAH : مسخن هواء شمسي مضاعف مسطح (The double pass flat plate solar air heater)
- DPFPSAH : مسخن هواء شمسي مضاعف متعرج (The double pass v-corrugated plate solar air heater)
- A_c : مساحة مسخن الماء الشمسي A_a [m²] : مساحة مسخن الهواء الشمسي [m²]
- I : شدة الإشعاع الشمسي (W/m²) Nu : رقم نوسلت Pr : رقم برنتل Ra : رقم ريليه Re : رقم رينولدز
- q_c : كمية الحرارة المتبادلة بالحمل q_r [W] : كمية الحرارة المتبادلة بالإشعاع T [W] : درجة الحرارة (C)
- t : الزمن $amb(s)$: الوسط الخارجي $a-i$: الهواء الداخل للمسخن الشمسي
- $a1-e$: الهواء المغادر للقناة العلوية $a2-e$: الهواء المغادر للمسخن الشمسي m : التدفق الكتلي (kg/s)
- m : الكتلة (Kg) g : زجاج g_1 : الغطاء الزجاجي الأول g_2 : الغطاء الزجاجي الثاني
- K : الموصلية الحرارية (W/m.K) α : عامل الامتصاصية γ : اللزوجة الحركية (m²/s)
- τ_g : عامل النفوذية

x : المسافة بين الغطائين الزجاجين $w(m)$: عرض مسخن الهواء الشمسي $h(m)$:
انتالبي الهواء (J/Kg)

f : عامل الاحتكاك C_p : السعة الحرارية $D(J/kg. C)$: سماكة القناة $V(m)$: السرعة
(m/s)

B : زاوية ميلان المسخن الشمسي D_h : القطر الهيدروليكي $T_p(m)$: درجة حرارة
الصفحة الماصة في القناة العلوية ($^{\circ}C$) Q_u : شدة الإشعاع الشمسي
الساقط على سطح المسخن الماء الشمسي (W). T_b : درجة حرارة الصفحة الماصة
في القناة السفلية ($^{\circ}C$)

تحليل أداء شبكات نقل الطاقة اللاسلكية

و تحسينها

طالب الماجستير: حسين عدنان محمد كلية الهك - جامعة البعث
اشراف الدكتور: حسام الوفائي

ملخص البحث:

يرجع التحدي العالمي المتمثل في تلوث الهواء إلى المركبات القائمة على محرك الاحتراق الداخلي. وبالتالي ، ظهر النقل الكهربائي كصيغةً للبيئة وأكثر موثوقية و ذكاءً .

إن التحدي الرئيسي لمالكي المركبات الكهربائية هو الوقت والجهد في شحن المركبات الكهربائية. تسبب الشواحن السلكية إزعاجًا لمالكي المركبات الكهربائية لتلبية متطلبات الشحن لبطاريات الجهد العالي بعد فترات منتظمة. الحل المحتمل هو الشحن اللاسلكي للسيارات الكهربائية. وظيفة الشحن اللاسلكي تحسين تجربة استخدام المركبات الكهربائية والتغلب على التحديات التي تواجهها أجهزة الشحن السلكية للكهرباء . جذب مفهوم نقل الطاقة اللاسلكية من خلال الحث الكهرومغناطيسي العديد من الباحثين لتنفيذ الشحن اللاسلكي للأجهزة الإلكترونية وكذلك بطاريات الجهد العالي للسيارات الكهربائية. تتمثل التحديات الرئيسية في التكلفة الأولية المرتفعة وكفاءة نقل الطاقة المنخفضة مقارنة بشواحن السيارات الكهربائية السلكية .

يهتم البحث بتحليل النموذج النظري الأساسي لنظام نقل الطاقة اللاسلكي لشحن المركبات الكهربائية و تطوير حلول للحفاظ على أقصى قدر من كفاءة الطاقة والتحقق من ذلك عن طريق إيجاد العلاقات اللازمة.

تم استخدام برنامج Ansys لمحاكاة طريقة التحسين المدروسة حيث تم التوصل من خلاله إلى نتائج مشجعة في مجال نقل الطاقة اللاسلكي للسيارات الكهربائية.

كلمات مفتاحية: نقل الطاقة اللاسلكي , الحث المتبادل , الحث الذاتي و التدفق المغناطيسي.

Analysis and Improvement the Performance of Wireless Power Transmission Networks

Abstract:

The global challenge represented by air pollution is because of the vehicles which powered by internal combustion engine.

Therefore, the power transmission appeared as a friend for the environment and more reliable and intelligent.

The main challenge for electric vehicle owners is the time and effort involved in charging electric vehicles. The wired chargers cause a handicap for electric vehicle owners to satisfy charging requirements for high voltage batteries after regular periods.

The probable solution is Wireless Power transmission for electric vehicle .The purpose of wireless charging is improving experiment of using electric vehicle and overcoming the challenges of wired charging. The concept of Wireless Power Transfer by electromagnetic inductance attracted many researchers to implement the wireless charging for electronic devices and high voltage batteries for electric vehicle.

The main challenges represented by the high primary cost and the efficiency of low power compared with wired chargers electric vehicle. The research is interested in analyzing the main theoretical model for WPT in charging electric vehicle and developing the solutions to keep the maximum of power efficiency and check that by finding the needed equations.

The Ansys was used to simulate the studied improving method so that it came up with encouraging results in WPT.

Keywords: WPT (Wireless Power transmission), Mutual inductance, Self-inductance and Mag flux.

1-مقدمة:

يرجع التحدي العالمي المتمثل في تلوث الهواء في المقام الأول إلى المركبات القائمة على محرك الاحتراق الداخلي. في العصر الحالي تشكل الانبعاثات الضارة مصدر قلق عميق للدول بالإضافة إلى ذلك ، يعد الاستخدام المكثف للوقود في النقل قضية رئيسية تؤدي إلى المخاوف البيئية الحالية مثل تغير المناخ وتلوث الهواء وتأثيرات الاحتباس الحراري ، مما يؤدي إلى التجديد العالمي في صناعات السيارات عن طريق تحويل مركبة ICE إلى مركبة كهربائية. وبالتالي ، فإن النقل الكهربائي يبرز كمنقذة نوعية في صناعات النقل ويعتبر صديقًا للبيئة وأكثر أمانًا وموثوقية وأكثر ذكاءً. سيؤدي النقل الكهربائي أيضًا إلى تقليل الاعتماد على الوقود. إن التحدي الرئيسي لمالكي المركبات الكهربائية هو الوقت والجهد المبذول في شحن المركبات الكهربائية. تسبب الشواحن السلكية إزعاجًا لمالكي المركبات الكهربائية لتلبية متطلبات الشحن لبطاريات الجهد العالي بعد فترات منتظمة. الحل المحتمل هو الشحن اللاسلكي للسيارات الكهربائية. من شأن الشحن اللاسلكي أن يعزز تجربة استخدام المركبات الكهربائية والتغلب على التحديات التي تواجهها أجهزة الشحن السلكية للكهرباء. جذب مفهوم نقل الطاقة اللاسلكية من خلال الحث الكهرومغناطيسي العديد من الباحثين لتنفيذ الشحن اللاسلكي للأجهزة الإلكترونية وكذلك بطاريات الجهد العالي للسيارات الكهربائية.

على الرغم من المزايا العديدة للشحن اللاسلكي للسيارات الكهربائية ، واجهت تقنية نقل الطاقة اللاسلكية العديد من التحديات في التنفيذ التجاري في قطاع السيارات. تتمثل التحديات الرئيسية في التكلفة الأولية المرتفعة وكفاءة نقل الطاقة المنخفضة مقارنة بشواحن EV السلكية. علاوة على ذلك ، فإن قضايا السلامة المتعلقة بالمجال الكهرومغناطيسي.

2-هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحليل النموذج النظري الأساسي لنظام نقل الطاقة اللاسلكي لشحن المركبات الكهربائية والقيام بإجراء برنامج في تحليل هذه الدارة ودراسة الأداء للنظام

القائم على الرنين المغناطيسي لشحن المركبات الكهربائية و تنفيذ تصميمات جديدة للوحة الطاقة وتطوير حلول قابلة للتطبيق و أيضا تطوير حلول للحفاظ على أقصى قدر من كفاءة الطاقة.

3- أهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث في أنه تم حل العديد من المشكلات الرئيسية لتحقيق اقتران قوي بالمجال المغناطيسي بين ملفات الشحن لنقل الطاقة لاسلكيًا بكفاءة. من أجل الاعتماد الواسع النطاق لنظام الشحن اللاسلكي للمركبات الكهربائية ، تم تقديم طريقة تحسين جديدة لاقتران لوحة الطاقة مما يؤدي إلى زيادة الكفاءة الإجمالية لنظام WPT.

4- مواد و طرق البحث:

يبدأ البحث بإجراء تحليل نظري لأنواع ملفات الشحن اللاسلكي ل EV واقتراح تصميم ومن ثم إجراء تحسين على هذه الأنواع بإضافة مادة الفريت للملفات و التحقق من النتائج النظرية عن طريق محاكاة الأنواع وتشغيل الدارة باستخدام برنامج ANSYS الذي أعطى نتائج إيجابية مشابهة للنتائج النظرية .

يعتبر برنامج ANSYS(ANalysis SYStem) بمثابة بيئة تصميم كهرومغناطيسي تم تطويرها من قبل شركة SASI بهدف حل المسائل الخطية وغير الخطية للكهرومغناطيسية. يحتوي البرنامج على عدد من العناصر لحل المسائل ذات البعد الواحد وذات البعدين وثلاثية الأبعاد ويمتاز بالمرونة في عمل تصاميم النماذج المختلفة حيث يقوم المستخدم بداية باستخراج العناصر المطلوبة و من ثم يتم ربطها مع بعضها و ضبط بارامتراتهما و بعد الانتهاء يجرى تشغيل البرنامج وأخذ القياسات

المختلفة مما يساعد المستخدم على التأكد من صحة النموذج و ما تم التوصل إليه نظرياً و الوصول بنفس الوقت إلى أفضل قيم للبارامترات المرتبطة به.

تم الاستعانة ببرنامج ANSYS في هذا البحث لدراسة ما يلي :

❖ دراسة تأثير إدخال قلب الفريت إلى ملفات الإرسال والاستقبال في ملفات D-

.Coil,DD-Coil & DDQ-Coil

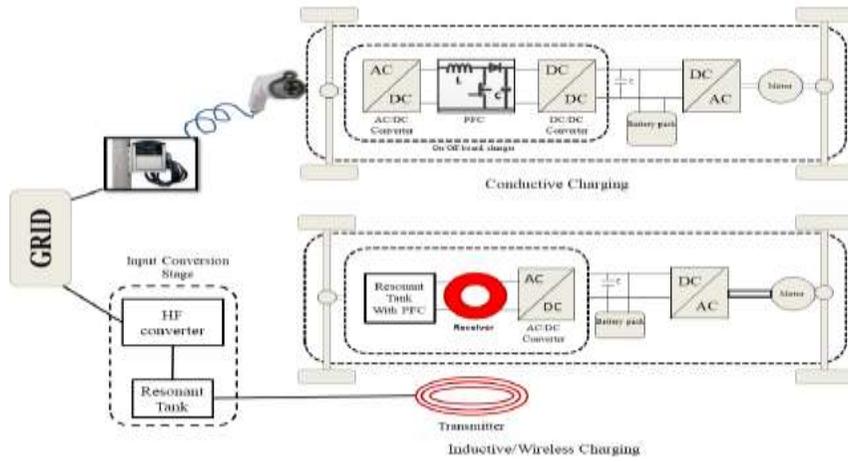
❖ تصميم ودراسة نموذج جديد من الملفات (مصفوفة الملفات) و تأثير إدخال

قلب الفريت إليها.

❖ تشغيل النظام ومراقبة النتائج.

• الشحن السلكي و الشحن اللاسلكي :

الشحن اللاسلكي هو شحن البطارية بدون توصيل سلك حيث يتم نقل الطاقة بوسائل مختلفة. الشحن الاستقرائي هو نوع من الشحن اللاسلكي يتم إجراؤه من خلال قانون فاراداي. يوضح الشكل 1 مخططاً مقارناً لشاحن داخلي وشاحن لاسلكي. في الشحن الاستقرائي أو الشحن اللاسلكي ، لا يوجد اتصال مادي بين PS و EV. حالياً ، يُطلق على الشحن الاستقرائي الشحن اللاسلكي وينقل الطاقة على مسافة بوصات. يعمل الباحثون على زيادة هذه المسافة حتى أمتار من الفجوة الهوائية. باستخدام الأجهزة الإلكترونية الصغيرة ، يمكن بسهولة نقل الطاقة حتى أمتار ؛ ولكن مع زيادة مستوى الطاقة ، ثبت أن الشحن عن بعد يمثل تحدياً. [1]



الشكل 1: مقارنة بين مخططات الشحن التوصيلي والاستقرائي للمركبات الكهربائية

• تقنيات الشحن اللاسلكي :

تقوم SWC بشحن السيارة عندما تكون متوقفة. DWC ، المعروف أيضًا باسم الشحن الديناميكي في الطريق ، يشحن السيارة عندما تكون في حالة حركة. يُعرف QWC أيضًا بأنه مفيد بشكل أساسي لتلك المركبات التي تتوقف على فترات زمنية منتظمة مثل إشارات المرور أو محطات الحافلات أو مواقف سيارات الأجرة [8] [9].

تتمثل التقنيات في :

.SWC -1

.QWC -2

.DWC -3

• المبدأ الأساسي للشحن اللاسلكي :

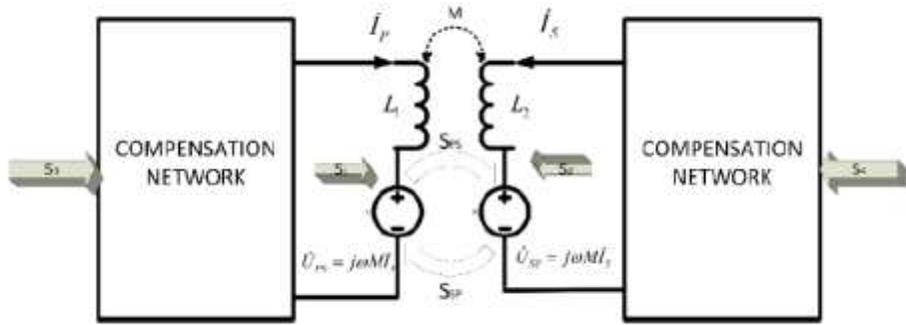
تشبه أساسيات WPT تطبيقات المحولات ، ويكون الاقتران بين الملفات الأولية والثانوية من خلال الهواء باعتباره القلب. سوف نقوم بتحليل بسيط للشحن اللاسلكي بشبكة تعويض منفصلة للملف في الشكل 2 ، مع إهمال مقاومة الملف والخسائر المغناطيسية. من L_S و L_P ، يمكننا الحصول على القوة المتبادلة على النحو التالي:

الطاقة الظاهرة المتبادلة من النظام الأساسي إلى الثانوي لنظام الملفين هي:

$$S_{PS} = - U_{PS} i_S^* = - j\omega M i_P i_S^* = \omega M I_P I_S \sin\varphi_{PS} - j\omega \cos\varphi_{PS} \quad (1)$$

الطاقة الظاهرة المتبادلة من المستوى الثانوي إلى النظام الأساسي لنظام الملفين هي:

$$S_{SP} = U_{SP} i_P^* = -j\omega M i_S i_P^* = -\omega M I_P I_S \sin\varphi_{PS} - j\omega M I_P I_S \cos\varphi_{PS} \quad (2)$$



الشكل 2: رسم تخطيطي مبسط لنظام نقل طاقة لاسلكي بملفين

يمكن التعبير عن نقل الطاقة النشط من جانب المرسل إلى جانب المستقبل على النحو التالي:

$$P_{PS} = \omega M I_P I_S \sin\varphi_{PS} \quad (3)$$

ومن ثم ، فإن إجمالي القدرة التفاعلية (Q) التي توجد في النظام بين الملفين هي:

$$Q = \omega (L_P I_P^2 + L_S I_S^2 + 2M I_P I_S \cos\varphi_{PS}) \quad (4)$$

لتكبير كفاءة المحول ، يجب تكبير نسبة الطاقة النشطة (P_{PS}) والطاقة التفاعلية (Q):

$$\frac{|P_{PS}|}{Q} = \left| \frac{\omega M I_P I_S \sin\varphi_{PS}}{\omega L_P I_P^2 + \omega L_S I_S^2 + 2\omega M I_P I_S \cos\varphi_{PS}} \right| \quad (5)$$

يمكن تحقيق أقصى قيمة لـ $f(\varphi_{PS})$ من خلال حل المعادلة التالية:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi_{PS}} f(\varphi_{PS}) = 0 \quad \frac{\partial^2}{\partial^2 \varphi_{PS}} f(\varphi_{PS}) < 0 \quad (6)$$

نظراً لأنه محول تقليدي ، فإن k قريب من 1 ، إذا كان i_S هو التيار المستحث بواسطة i_P وعندما تكون قيمة x قريبة من 1 ، فإن القيمة $\cos\varphi_{PS}$ تساوي 1 تقريباً. يوجد فرق طور 180 درجة بين i_P و i_S . في حالة WPT فإن $k \approx 0$. تكون القيمة القصوى لـ $f(\varphi_{PS})$ عند $\sin\varphi_{PS} = 1$ ، وبالتالي يتم تكبير WPT. بدلاً من 180 درجة ، يوجد فرق طور بمقدار 90 درجة بين i_P و i_S . ومن ثم فإن الفرق بين الترابط المحكم والترابط الغير محكم يكون مرتين. يعتمد تصميم شبكة التعويض على درجة الاقتران. إذا أخذنا في الاعتبار اقتران السلاسل المتسلسلة ، فهناك طريقتان لتصميم مكثف الرنين. بالنسبة إلى WPT مع اقتران ضيق ، $k > 0.5$ ، يجب زيادتها لتحقيق التردد العالي. في حالة الرنين مع الحث الذاتي للملف $\varphi_{PS} = \pi/2$ و $f(\varphi_{PS})$ منخفضة ، وهو أمر غير موصى به ، حيث يزداد الفقد المغناطيسي. إذا كان هناك تعويض رنيني مع عمل محول حث التسرب كالتقليدي وهناك زيادة في $f(\varphi_{PS})$ ، لكن النظام العام لا يعمل في حالة الطنين. في الاقتران

السائب ، أي الشحن اللاسلكي للمركبة الكهربائية $k < 0.5$ في حالة الطنين ، يتطلب المكثف الضبط باستخدام الحث الذاتي بحيث يمكن نقل الطاقة القصوى. هنا ، يتم تخزين الطاقة في الفجوة الهوائية بين المرسل والمستقبل ويتناسب فقدان النحاس مع مربع تيار التوصيل. للحصول على أقصى نقل للطاقة ، يجب أن يتأخر التيار المستحث في الملف الثانوي i_s عن التيار المستحث الأولي i_p بمقدار 90° درجة. U_{PS} و i_s يجب أن يكون في الطور منذ ذلك الحين U_{PS} و i_p يتأخر بمقدار 90° درجة على الملف المستقبلي. على الجانب الثانوي ، تظهر خاصية المقاومة النقية. في غضون ذلك ، يجب تقليل القوة الظاهرة S_3 في الجانب الأولي. عندما $\cos\varphi_{PS}=0$ تكون القوة المركبة (S_3) هي:

$$S_3 = j\omega L_p I_p^2 + \omega M L_p I_s \quad (7)$$

$$\eta_{max} = \frac{K^2 Q_p Q_s}{(1 + \sqrt{1 + K^2 Q_p Q_s})^2} \quad (8)$$

أقصى قدر من الكفاءة

$$\alpha_{\eta max} = \sqrt{1 + K^2 Q_p Q_s} \quad (9)$$

الذي تم تحقيقه في

النتائج مشابهة لما ورد أعلاه. بالنسبة للشحن اللاسلكي الثابت ، يكون معامل الاقتران بين الملفات حوالي 0.1 إلى 0.25 ، إذا كان لكل من الملفين عامل جودة حوالي 300 وكفاءة بحساب نظري يبلغ حوالي 96.7% [1] [2] [3].

• تأثير إدخال النواة على الشحن اللاسلكي للمركبة الكهربائية:

تم اختيار ثلاثة أنواع من الملف المستطيل ولوحة الفريت بنفس حجم الملف. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحليل تأثير القلب على كل نوع من أنواع الملفات ومقارنة

التحسن في خصائص نقل الطاقة بعد إدخال الفريت فوق أشكال الملفات. عندما يقترن ملفان وضبطهما على تردد طنين مع ممانعاتهما Z_R و Z_T . يمكن التعبير عن الحد الأقصى من الكفاءة عند الحد الأقصى لتوقعات الحمل لطوبولوجيا السلسلة المتسلسلة على النحو التالي :

$$\eta_{max} = \frac{1}{1 + \frac{2}{k\sqrt{Q_R Q_T}}} \quad (10)$$

حيث أن Q_R و Q_T هي عوامل الجودة لبنية ملف جهاز الإرسال والاستقبال. يعتمد عامل الجودة على الحث الذاتي ومقاومة الملف كما هو معبر عنه:

$$Q_T = \frac{\omega L_T}{R_T} , Q_R = \frac{\omega L_R}{R_R} \quad (11)$$

حيث R_T و R_R مقاومات جهاز الإرسال والاستقبال. وفقاً للمعادلة 10 ، يمكن زيادة الكفاءة عن طريق زيادة معامل الاقتران وعوامل الجودة لكل ملف. يعتمد عامل الجودة على البعد المادي للملف. لا يمكن زيادة أبعاد الملف بشكل تعسفي لأن الزيادة في عدد لفات الملف ستزيد من الحث والمقاومة. نظراً لفقدان التبديل لأجهزة أشباه الموصلات ، فإن تردد نقل الطاقة سيكون محدوداً. التردد القياسي الذي حددته SAE 2954 يتراوح من 80.38 إلى 90 كيلو هرتز . العامل الثالث كما هو مذكور في المعادلة. 10 يعتمد على وصلة التدفق بين المرسل و ملف المستقبل. بالنظر إلى الأنظمة المحاذية بنسبة 100% ، يكون عامل الاقتران هو الحد الأقصى. ومع ذلك ، يمكن أن يؤدي الاختلاف الطفيف جداً في المحاذة إلى تقليل معامل الاقتران. سوف نناقش طريقة لتحسين الكفاءة عن طريق زيادة عامل الاقتران بين المرسل والمستقبل.

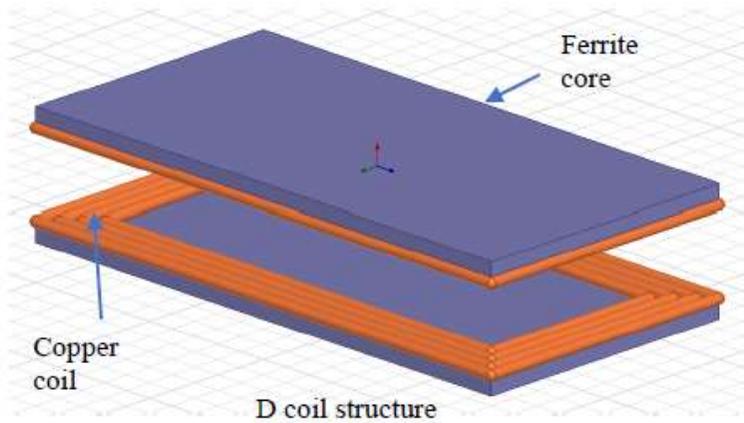
أبعاد الملف هي نفسها لجميع أنواع الملفات الثلاثة. لإجراء تحليل الدارة المغناطيسية والتحقق من المحاكاة لقلب الفريت فوق المرسل والمستقبل [4].

5-الدراسة النظرية:

• تحليل الدارة المغناطيسية لنظام ملفات D و DD و DDQ:

تم إجراء تحليل الدارة المغناطيسية لمنصات طاقة الشحن اللاسلكي لتحليل تأثير النواة على معامل الاقتران. مادة ملف الإرسال والاستقبال عبارة عن سلك نحاسي مجدول. ينبعث التدفق المغناطيسي المتولد من الملف في جميع الاتجاهات [7].

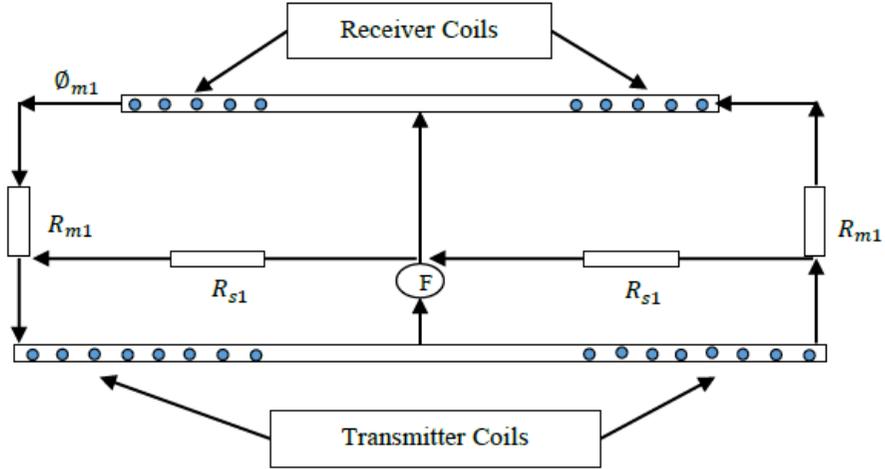
• الحساب النظري للحث لبنية ملف D:



الشكل 3: الهيكل التخطيطي لملف D

ملف الهيكل D هو ملف مستطيل تقليدي ، له أبعاد مساوية لملف DD و DDQ. للتمييز عن المستطيل DD و DDQ ، تم تعديل اسم الملف المستطيل إلى ملف D. يحتوي ملف D على منطقة تدفق أفضل وتقليل تسرب التدفق في الزوايا مقارنة بملفات

DD و DDQ. ومع ذلك ، فإن ملف D مفيد جدًا في صنع ملف المسار للشحن اللاسلكي الديناميكي للسيارات الكهربائية وتحمل أفضل للمحاذاة في الاتجاه الجانبي.



الشكل 4: الدارة المغناطيسية لهيكل الملف المستطيل

علاوة على ذلك ، فإن ملفات D سهلة التصميم وخفيفة الوزن ومضغوطة وذات قيمة أفضل من حيث التكلفة وقدرة أكبر على نقل الطاقة في حالة الشحن اللاسلكي الديناميكي. يوضح الشكل 3 بنية تخطيطية للملف D مع قلب حول المرسل والمستقبل. حيث يتم تغطية السطح الخارجي والداخلي الكلي بالواح الفريت. حجم ملف جهاز الاستقبال أصغر قليلاً من ملف جهاز الإرسال. يتم إجراء التحليل لاختبار تأثير الفريت على هيكل ملف الشحن بغض النظر عن تكلفة ووزن ملفات الشحن. يوضح الشكل 4 دائرة مغناطيسية لهيكل الملف المستطيل [5] [4].

حيث:

F: هي القوة الدافعة المغناطيسية لملف المرسل.

R_S : هو التردد الذاتي لكل ملف مثل R_{S1} و R_{S2} التردد الذاتي للمرسل والمستقبل على التوالي.

Φ_{S1} : هو التدفق الناتج عن الارتباط الذاتي للمجال المغناطيسي.

Φ_{m1} : هو التدفق الناتج عن الارتباط المتبادل للمجال المغناطيسي.

R_{m1} : هو التردد المغناطيسي المتبادل.

Φ_{all} : هو إجمالي التدفق المغناطيسي المتبادل.

وفقًا للتعبير عن نموذج الدارة المغناطيسية ، يمكن الحصول على تعبير عن التدفقات المغناطيسية لكل نوع :

$$\Phi_{m1} = F/2R_{m1} \quad (12)$$

$$\Phi_{s1} = F/R_{s1} \quad (13)$$

علاوة على ذلك ، يمكن اشتقاق معامل الاقتران للنظام على :

$$K = \Phi_{m1}/\Phi_{all} = \Phi_{m1}/(\Phi_{m1} + \Phi_{s1}) = \frac{F/2R_{m1}}{\left(\frac{F}{2R_{m1}} + \frac{F}{R_{s1}}\right)} \quad (14)$$

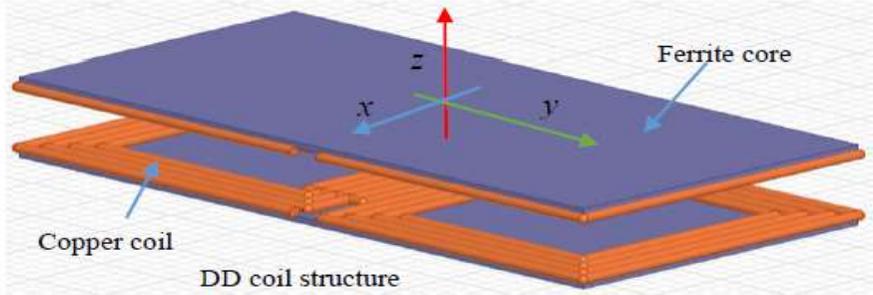
نظرًا للهيكل المتماثل ، فإن التدفقات المتبادلة هي نفسها من كلا الزاويتين. يمكن تبسيط معادلة معامل الاقتران:

$$K = R_{s1}/(R_{s1} + 2R_{m1}) \quad (15)$$

من الواضح أن معامل الاقتران يزداد بالتناقص. يمكن الاستنتاج أن معامل الاقتران يعتمد على الوضع المناسب للمادة الأساسية. يعتمد معامل اقتران بنية الملف D بشكل عكسي على الإحجام المتبادل مع عامل مضاعف 2. تم إجراء مزيد من التحقق من التحليل أعلاه من خلال تحليل العناصر المحدودة (FEA). تم اختيار أداة FEA

للتحليل المغناطيسي مثل Ansys Maxwell نظرًا لتحليلها الدقيق للكهرومغناطيسية الساكنة. لا يتطلب ماكسويل سوى البنية الهندسية لتحليل النظام [4].

• الحساب النظري للحث لهيكل ملف D مزدوج :

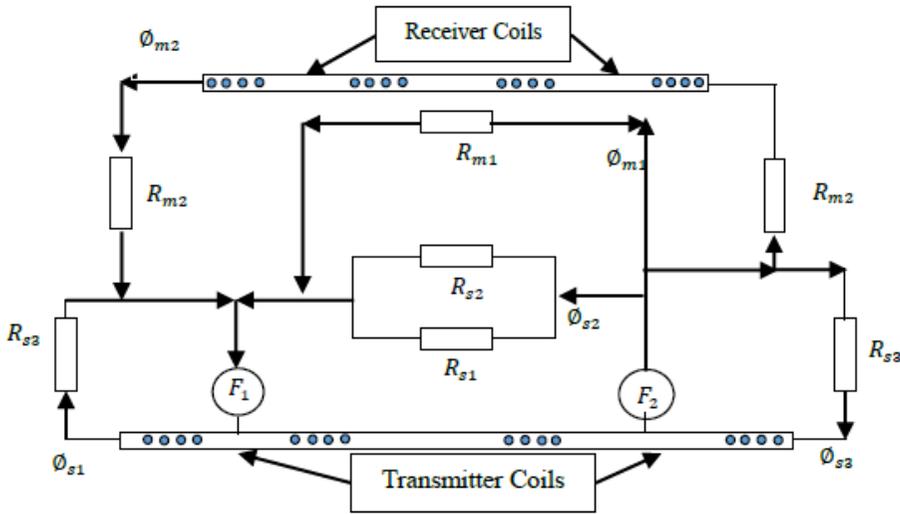


الشكل 5: الهيكل التخطيطي لملف DD

يحتوي هيكل ملف DD على معامل اقتران كبير مع تفاوت جانبي أفضل. كما هو مرسوم في الشكل 5 ، يتكون ملف DD من ملفين متساويين على شكل D مع جانب مشترك ، متصلين في سلسلة ولكن ملفوف في الاتجاه المعاكس. مثل هذا الترتيب لملف DD يجعله مستقطبًا لأن الملفين الفرعيين يولدان قطبين مغناطيسيين متعاكسين. يوضح الشكل 6 دائرة توزيع التدفق المغناطيسي مع ممانعة ، ومناطق اقتران التدفق والتوزيع التقريبي للمناطق المتبادلة والاقتران الذاتي.

يولد ملف جهاز الإرسال قوتين دافعتين مغناطيسيتين F1 و F2 من قطبين تم إنشاؤهما من ملف جهاز الإرسال. تم تصميم الدارة المغناطيسية بافتراض وجود R_{s1} , R_{s2} , R_{s3} ممانعة ذاتية لثلاث مناطق ناتجة عن قوتين كهربائيتين. التدفقات المغناطيسية لمنطقة الاقتران الذاتي هي Φ_{s1} , Φ_{s2} , Φ_{s3} والتدفق الناتج عن الارتباط الذاتي للمجال المغناطيسي. بالمقابل ، فإن منطقة الاقتران المتبادل تساوي منطقتي اقتران.

$R_{m2}R_{m1}$, هي التردد المتبادل للملفات. $\Phi_{m2} \Phi_{m1}$, التدفقات المغناطيسية.



الشكل 6: عرض بسيط لهيكل ملف DD

هي التدفق الناتج عن الارتباط الذاتي للمجال المغناطيسي. $\Phi_{s3} , \Phi_{s2} , \Phi_{s1}$

هي التدفق الناتج عن الارتباط المتبادل للمجال المغناطيسي. $\Phi_{m2} \Phi_{m1}$

وفقاً للتعبير عن نموذج الدائرة المغناطيسية ، يمكن الحصول على التعبير عن التدفقات المغناطيسية بسبب الحث المتبادل في صورة المعادلة (16) و (17).

$$\Phi_{m1} = (F1 + F2)/R_{m1} \quad (16)$$

$$\Phi_{m2} = (F1 + F2)/2R_{m2} \quad (17)$$

يمكن التعبير عن التدفق الناتج بسبب الحث الذاتي على أنه (18) و (19) و (20).

$$\Phi_{s1} = F1/R_{s3} \quad (18)$$

$$\Phi_{s2} = (F1 + F2)/(R_{s1} // R_{s2}) \quad (19)$$

$$\Phi_{s3} = F2/R_{s3} \quad (20)$$

يمكن اشتقاق معامل الاقتران للنظام العام ك :

$$K = \frac{(\Phi_{m1} + \Phi_{m2})}{\Phi_{all}} \quad (21)$$

$$K = \frac{\Phi_{m1} + \Phi_{m2}}{\Phi_{m1} + \Phi_{m2} + \Phi_{s1} + \Phi_{s2} + \Phi_{s3}} \quad (22)$$

$$K = \frac{\left(\frac{(F1+F2)}{R_{m1}}\right) + \left(\frac{(F1+F2)}{2R_{m2}}\right)}{\frac{F1}{R_{s3}} + \frac{F1+F2}{R_{s1} // R_{s2}} + \frac{F2}{R_{s3}} + \frac{F1+F2}{R_{s3}} + \frac{F1+F2}{2R_{m2}}} \quad (23)$$

نظرًا للهيكال التماثل والاتصال بين الاثنتين المقابل D يكون متسلسلاً F1=F2

يمكن تبسيط معادلة معامل الاقتران

$$K = \frac{1}{\frac{\alpha_{s3} + \alpha_{//}}{\alpha_{m1} + 1/2\alpha_{m2}} + 1} \quad (24)$$

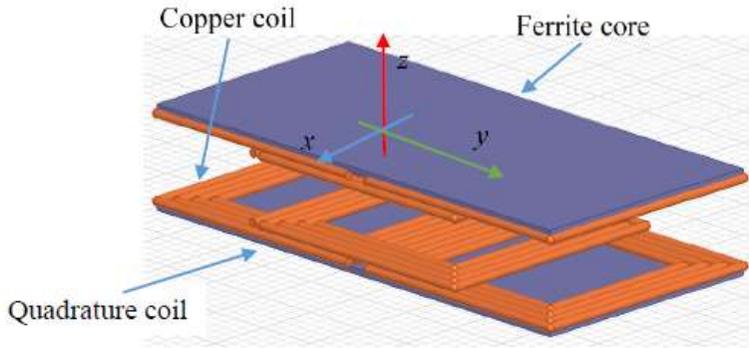
حيث : $\alpha = 1/R$

$$\alpha_{//} = \frac{1}{R_{s1} // R_{s2}} \quad (25)$$

يزداد معامل الاقتران بتناقص $(\alpha_{s3} + \alpha_{//})$ وزيادة $(\alpha_{m1} + 0.5 \alpha_{m2})$ في نفس الوقت. . ومن ثم يمكن استنتاج أن معامل الاقتران يعتمد على الوضع المناسب للمادة الأساسية. بالمقارنة مع بنية ملف D ، يكون توزيع المجال المغناطيسي لهيكل ملف DD أكثر تعقيداً. . قد يؤدي الموضع الأمثل للقلب الفريت فوق هيكل الملف إلى تعزيز معامل الاقتران بنسبة تصل إلى 30%. لقد استخدمنا FEA من خلال Ansys Maxwell للتحقق من تأثير وضع الفريت فوق هيكل الملف [6] [4] .

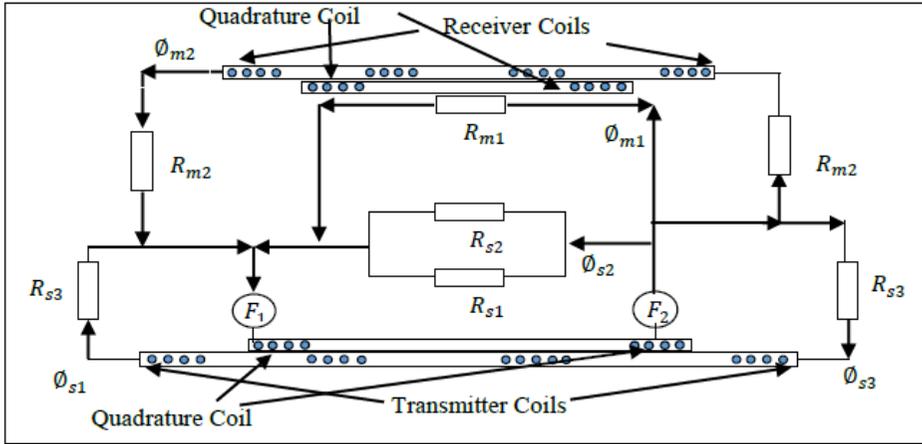
- الحساب النظري الحثي لهيكل ملف D التربيع المزوج :
- DDQ هو إضافة ملف تربيعي في ملف DD . الملف التربيعي عبارة عن ملف دائري مسطح أو مستطيل قليلاً يتم فصله بشكل متبادل عن هيكل ملف

DD التقليدي ، ويتم وضعه بشكل متماثل بين ملفي DD. يولد ملف DDQ كلا من المكونات الأفقية والرأسية للتدفق. يتمتع DDQ بقدر أكبر من التسامح مع اختلال المحاذاة في كلا الاتجاهين الأفقي والأفقي . يظهر الرسم التخطيطي الهيكلي لـ DDQ في الشكل 7 [4].



الشكل 7: الهيكل التخطيطي لملف DDQ

لا يظهر التحليل المغناطيسي لـ DDQ هنا لأن الدائرة المغناطيسية تشبه إلى حد بعيد بنية ملف DD. نظرًا لأن السلوك السلبي للملف التربيعة لن يساهم في دائرة المجال المغناطيسي ، وبالتالي لن يقوم الملف التربيعة بتوليد أي EMF. ومع ذلك ، فإن الملف التربيعة سوف يساهم في محاذاة المجال المغناطيسي. تمت محاكاة هيكل ملف DDQ وتحليله من خلال تحليل FEA باستخدام Maxwell Simulation.



الشكل 8: الدائرة المغناطيسية لتحليل بنية ملف DDQ

تحليل المجال المغناطيسي لهيكل ملف DDQ مشابه لهيكل ملف DD. يساعد الملف التربيعة لـ DDQ في محاذاة المجال المغناطيسي المتولد من بنية DD لملف DDQ. يمكن الملف التربيعة الملف الثانوي من إقران الطاقة من كل من التدفق المتوازي المستقطب على طول الوسادة والتدفق العمودي. قد تعزز خاصية DDQ هذه قابلية التشغيل البيئي مع هياكل الملف الأخرى [8].

• دراسة وتحليل مصفوفة من الملفات (2 * 2):

يعد تصميم ملف لوحة الطاقة أحد أهم عوامل التصميم لتطبيقات الشحن اللاسلكي للمركبات الكهربائية. يعد التصميم الأمثل للوحة الطاقة هو المرحلة الأكثر أهمية في تطوير نظام نقل طاقة لاسلكي فعال وموثوق. كل تصميم ملف متاح له مميزاته الخاصة المناسبة لتطبيقات محددة. تم تحليل مشاكل الهدفين للتحسين بما في ذلك التصميم والشكل والحجم الأمثل واتجاهات التيار المحسن في مصفوفة الملفات (2*2) حيث تم تحسين تصميم الأبعاد إلى أقل مساحة ممكنة مع أقصى معامل اقتران وتم

التحقق من الاتجاهات الحالية بأقل تداخل بين الملفات المقابلة من خلال تحليل العناصر المحدودة (FEA) باستخدام ANSYS Maxwell.

بعد إجراء تحليل نظري لمصفوفة الملفات 2*2 تبين أن الحث المتبادل لنظام نقل الطاقة اللاسلكي يعتمد على توزيع التدفق المغناطيسي. وبالتالي ، فإن التوزيع المنتظم للتدفق المغناطيسي يمكن أن يعزز معامل الاقتران. يتم إجراء التحقق من التحليل أعلاه من خلال FEA ، باستخدام Ansys Maxwell [5].

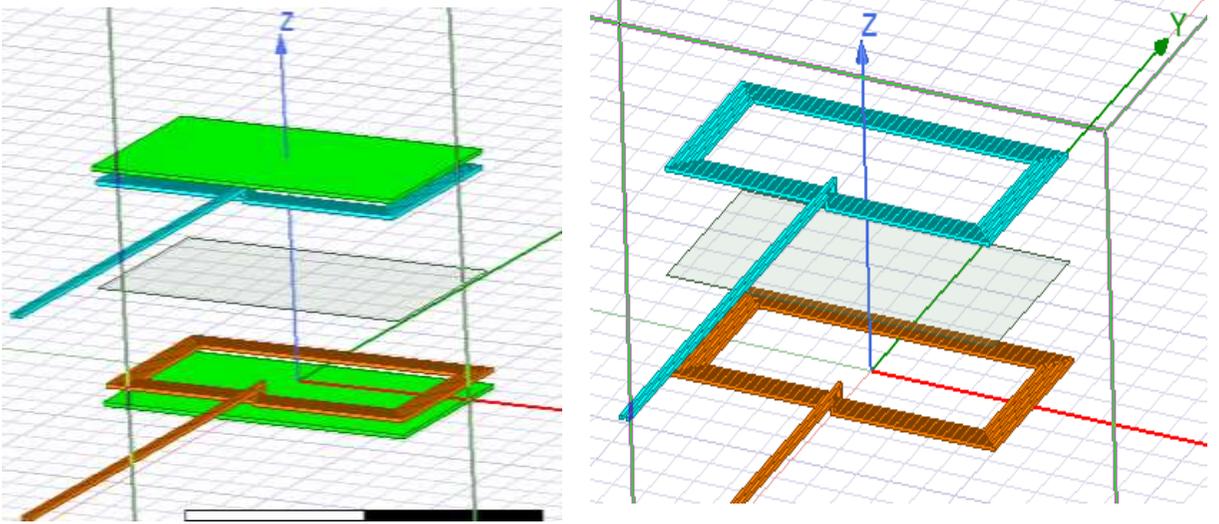
6-المحاكاة:

الجدول أدناه يوضح البارامترات المستخدمة في المحاكاة من أجل D-Coil , DD-Coil & DDQ-Coil :

Parameters	Values
Air gap Distance	100 mm
Transmitter coil current	10 A
Receiver coil current	10 A
Coil material	Copper
Core material	ferrite
Number of coils turns	4
Conductor thickness	2 mm

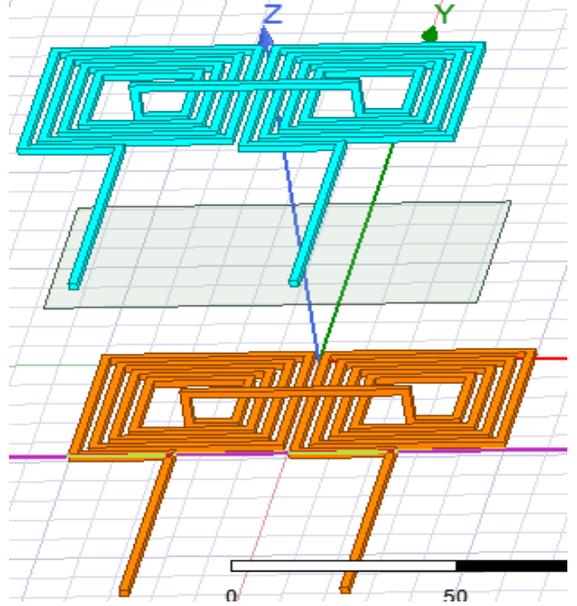
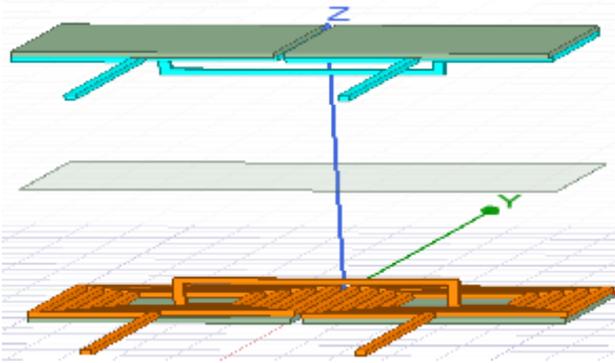
▪ ملف D-Coil:

تم تحليل تأثير النواة المغناطيسية على ملف D باستخدام تحليل الدارة المغناطيسية حيث يحتوي ملف D على إثارة ملف واحد فقط ، وبالتالي يقل تعقيد نمط التدفق. بدون قلب الفريت ، تم إصدار خطوط التدفق في جميع الاتجاهات. بعد إدخال قلب الفريت عبر ملف الإرسال والاستقبال ، تمت محاذاة خطوط التدفق والحصول على الاتجاه. تم تقييد تدفق التسرب بواسطة قلب الفريت وتركيزه في المركز .



الشكل 9: محاكاة D-Coil على ANSYS بدون ومع إدخال الفريت

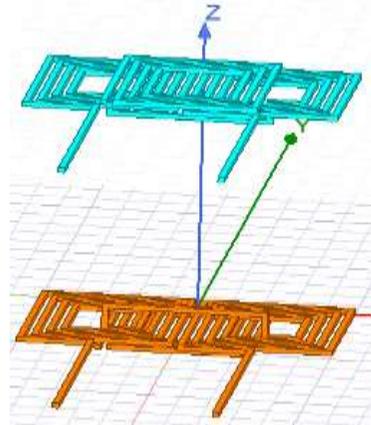
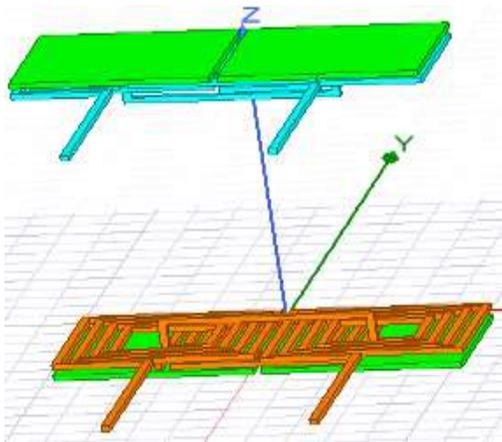
▪ ملف DD-Coil :



الشكل 10: محاكاة DD-Coil على ANSYS بدون ومع إدخال الفريت

▪ ملف DDQ-Coil :

التدفق المغناطيسي الناتج عن بنية ملف DDQ. يتركز الحقل في الوسط ، ولا يوجد تدفق يخرج من القلب.



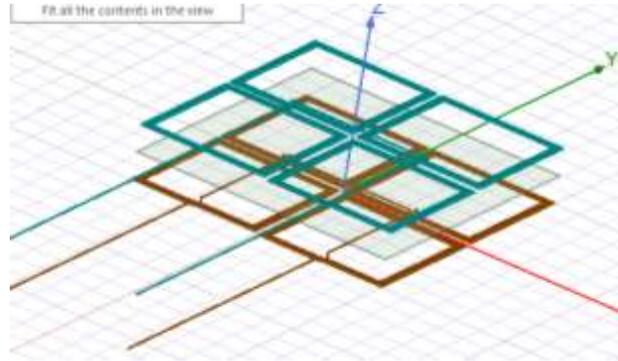
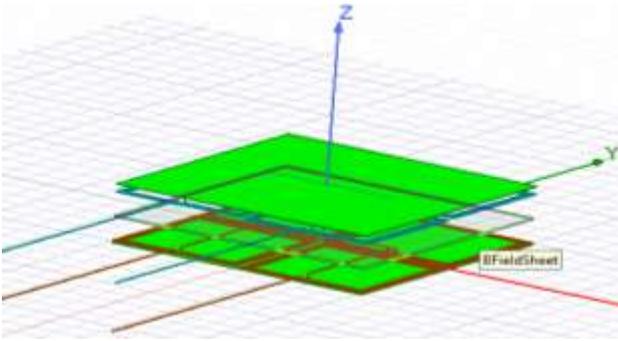
الشكل 11: محاكاة DDQ-Coil على ANSYS بدون ومع إدخال الفريت

■ مصفوفة الملفات :

تم إجراء التحليل و التحقق من تحليل FEA للحصول على القيمة الأكثر دقة للتحريض المتبادل. تم تطوير النموذج في بيئة ANSYS Maxwell لتحقيق الأداء الأمثل بأقل قدر من القوة الحسابية. كان التحليل الذي تم إجراؤه في Maxwell عبارة عن تحليل مغناطيسي ثابت لقياس الحث الذاتي والمتبادل للملفات. بمجرد التحقق من صحة قيم الحث الذاتي والحث المتبادل لكل ملف ، يمكن إجراء المحاكاة التالية للتحليل العابر باستخدام ANSYS Maxwell للعثور على تحليل تيار النقل.

الجدول أدناه يوضح البارامترات المستعملة في المحاكاة :

Coil Specification	Size (mm)
Coil Dimension	500*500
Coil wire diameter	2
Number of coil Turns	4
Outer region	air
Primary Current	10A

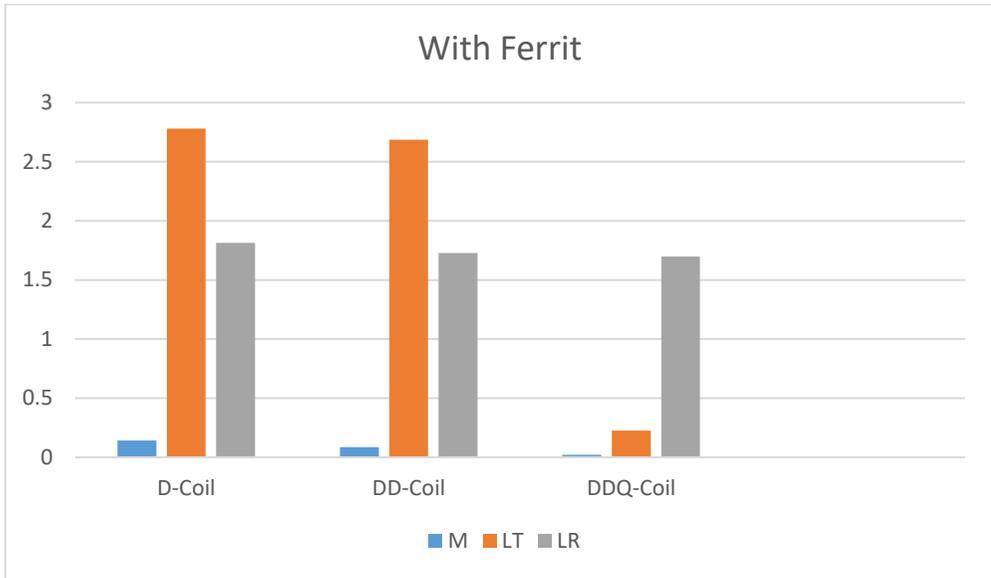


الشكل 12: محاكاة مصفوفة الملفات على ANSYS بدون ومع إدخال الفريت

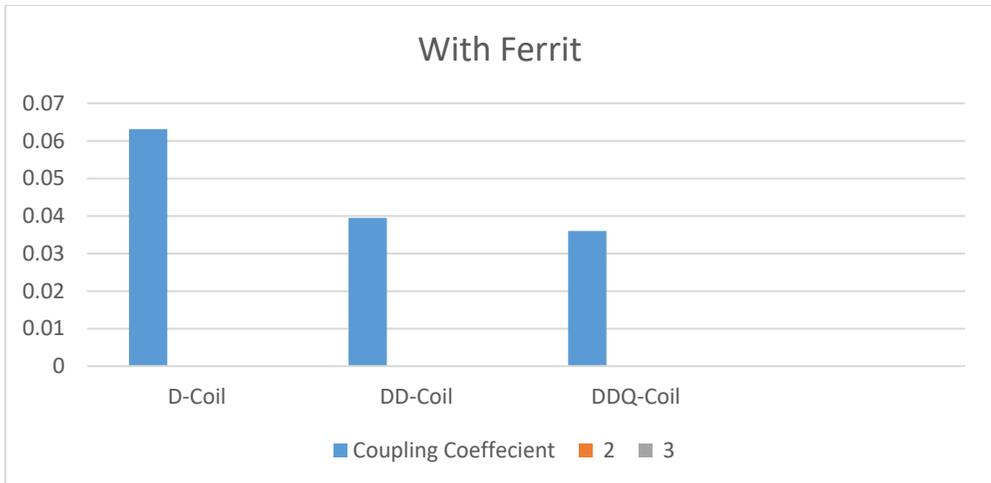
7-النتائج و المناقشة:

• D-Coil , DD-Coil & DDQ-Coil :

يوضح الشكل 13 المقارنة الرسومية بين الحث الذاتي المتبادل D و DD و DDQ. يوضح الشكل 14 معامل الاقتران لجميع أنواع بنية الملف الثلاثة. يُظهر D منطقة الشحن الأكبر من مجموعات ملفات DD و DDQ. بالنسبة لنظام نقل الطاقة العالية ، تعد وسادة الطاقة ذات النواة الفريتية أكثر ملاءمة بالمقارنة مع لوحة الطاقة عديمة النواة.



الشكل 13 : الحث المتبادل والحث الذاتي للمرسل والمستقبل



الشكل 14 : معامل الاقتران (الكفاءة)

يقدم الجدول أدناه النتائج المقارنة لجميع أنواع الملفات الثلاثة بين نتائج الدراسات السابقة باللون الأحمر ونتائج الدراسة الحالية باللون الأخضر:

Parameters	Without Ferrit			With Ferrit		
	D-Coil	DD-Coil	DDQ-Coil	D-Coil	DD-Coil	DDQ-Coil
Mutual Inductance (μH)	0.101905606	0.055872368	0.017394682	0.1418407	0.08506337	0.022283453
Transmitter self-inductance (μH)	1.788725	1.708018	0.207800140	2.779542	2.686475	0.225774457
Receiver Self Inductance (μH)	1.794550	1.707804	1.694734	1.814928	1.726286	1.696960
Coupling coefficient (μ)	0.056879	0.032714	0.029312	0.063153	0.039500	0.036001
Transmitted Magnetic Flux (Wb)	0.000019	0.000018	0.000002	0.000029	0.000028	0.000002
Receiver magnetic flux (Wb)	0.000018	0.000018	0.000017	0.000020	0.000018	0.000017

• مصفوفة الملفات :

تم إجراء تحليل العناصر المحدودة للتحقق والعثور على الحث المتبادل لهيكل QPP. تتمثل الميزة الرئيسية لهيكل QPP في اقتران التوافق مع هياكل الملفات الأخرى ، وتحمل المحاذاة المحسّن ، ومعامل الاقتران العالي مع هياكل الملفات الأخرى. يوضح الجدول أدناه نتائج FEA التي تم إجراؤها على Ansys Maxwell وتمثل الصفوف المميزة هياكل الملف الأقل انحرافاً ، مع أقصى معامل اقتران.

الجدول أدناه يعبر عن مقارنة بين النتائج التحليلية النظرية باللون الأحمر ونتائج FEM بعد المحاكاة على ANSYS باللون الأخضر لهيكل مصفوفة الملفات :

	Analytical Model	FEM	Error (%)
Self-Inductance (Primary) (μH)	77.7520643	87.361870	11
Self-Inductance (Secondary) (μH)	54.11294518	60.801062	11
Mutual Inductance (μH)	16.7959908	27.993318	4
Coupling coefficient	0.1152282	0.384094	7

8-الخلاصة والتوصيات:

تم من خلال هذا البحث تحليل الشحن اللاسلكي للسيارات الكهربائية تحليلًا نظريًا وإيجاد المعادلات اللازمة لذلك وتم أيضًا تحليل طريقة إدخال قلب الفريت إلى ملفات الإرسال والاستقبال وتطبيق ذلك على الأنماط الثلاثة للملفات والتي أدت إلى تعظيم معامل الاقتران وبالتالي زيادة كفاءة نقل الطاقة وتم تحليل شكل جديد للملفات (مصفوفة الملفات) والتي بدورها أبدت نتائج مذهلة وخاصة بعد إضافة مادة الفريت . تم محاكاة التحليلات السابقة باستخدام برنامج ANSYS وتصميم النظام وتشغيله و إظهار نتائج مطابقة للتحليلات النظرية.

من الأهداف المستقبلية لهذا البحث أنه لا يمكن للسائقين أن يتوقعوا إيقاف السيارة بدقة فوق لوحة الشحن اللاسلكية من أجل تحقيق المحاذاة المثالية للملفات حيث يمثل تنفيذ نظام لمحاذاة ملفات الإرسال والاستقبال تحديًا . لذلك ، يجب تصميم نظام تكيفي وتطويره للحفاظ على الكفاءة المثلى لنقل الطاقة لنظام الشحن اللاسلكي للمركبات الكهربائية في ظل سيناريوهات الاستخدام المختلفة.

لا يمكن تجاهل عواقب الأشياء المحيطة على أداء الشحن اللاسلكي مثل الأجسام المعدنية المركبة في المركبات الكهربائية. ومن ثم ، يجب تركيز بعض اعتبارات التصميم على التحايل على حطام الأجسام الغريبة و الكائنات الحية بين منصات شحن الإرسال والاستقبال للمركبات الكهربائية. وبالتالي تصميم نظام لتجنب وجود مثل هذه الأشياء أو الأجسام يمثل تحديا يجب التغلب عليه وتطويره.

9-المراجع:

- [1] Y. Zhang, Z. Zhao, and K. Chen, "Frequency decrease analysis of resonant wireless power transfer," IEEE Trans. Power Electron 2018.
- [2] A. Kamineni, G. A. Covic, and J. T. Boys, "Analysis of Coplanar Intermediate Coil Structures in Inductive Power Transfer Systems," IEEE Trans. Power Electron 2017.
- [3] T.-D. D. Nguyen, S. Li, W. Li, and C. C. Mi, "Feasibility study on bipolar pads for efficient wireless power chargers," in 2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 2017.

- [4] A. Ahmad, M. S. Alam, and R. Chabaan, "A Comprehensive Review of Wireless Charging Technologies for Electric Vehicles," IEEE Trans. Transp. Electrification. 2017.
- [5] A. Tejada, C. Carretero, J. T. Boys, and G. A. Covic, "Ferrite-Less Circular Pad with Controlled Flux Cancellation for EV Wireless Charging," IEEE Trans. Power Electron 2017.
- [6] M. S. Alam et al., "A Bibliographical Review of Electrical Vehicles (xEVs) Standards," SAE Int. J. Altern. Powertrains 2018.
- [7] A. Ahmad, Z. A. Khan, M. Saad Alam, and S. Khateeb, "A Review of the Electric Vehicle Charging Techniques, Standards, Progression, and Evolution of EV Technologies in Germany," Smart Sci 2018.
- [8] T. Kan, F. Lu, T. D. Nguyen, P. P. Mercier, and C. C. Mi, "Integrated Coil Design for EV Wireless Charging Systems Using LCC Compensation Topology," IEEE Trans. Power Electron 2018.
- [9] H. K. Dashora, G. Buja, M. Bertoluzzo, R. Pinto, and V. Lopresto, "Analysis and design of DD coupler for dynamic wireless charging of electric vehicles," J. Electromagn. Waves 2018.